



Hugo Miguel Teodoro dos Santos

Licenciado em Ciências da Engenharia Eletrotécnica e de
Computadores

Quadros Elétricos Inteligentes Recorrendo a Soluções Comerciais

Dissertação para obtenção do Grau de
Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: João Francisco Alves Martins,
Professor Doutor, Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Nuno Filipe Silva Veríssimo Paulino

Arguente: Luís Filipe Figueira de Brito Palma



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Março, 2015

Quadros Elétricos Inteligentes Recorrendo a Soluções Comerciais

Copyright © Hugo Miguel Teodoro dos Santos, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Aos meus pais, amigos e restante família

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer ao meu orientador, o Professor João Martins, pela oportunidade de realizar este projeto. Todo o apoio, disponibilidade e paciência demonstrados ao longo das fases de execução desta Dissertação foram fundamentais para a conclusão da mesma.

Quero deixar um agradecimento especial ao meu colega Bruno Brito, pela enorme ajuda a nível técnico sobre alguns pontos da dissertação, e também pela paciência que tem em aturar-me todos os dias.

O meu grande obrigado aos meus amigos e colegas de curso, que me acompanharam ao longo do meu percurso académico, nomeadamente ao Jorge Boavida, Diogo Gil, Bruno Ferreira, João Marques, Gonçalo Domingues, João Pecorelli, João Carreiro, Tavares, Xavier, Diogo Cardoso. Todo o companheirismo e amizade demonstrados foram cruciais.

Também quero agradecer aos meus amigos fora do curso, especialmente ao Mimoso, Miguelinho, Jota, Dani, Pedro Carvalho, Maria, Sara, entre muitos outros, que sempre demonstraram grande amizade, e estiveram sempre presentes nos bons e maus momentos.

Um parágrafo especial aos meus pais, por estarem sempre ao meu lado, tanto a nível emocional como financeiro, ao longo de todo o meu percurso académico. Obrigado pela ótima educação que me incutiram.

Para terminar, fica um agradecimento especial à *Schneider Electric*, nomeadamente ao Engenheiro Carlos Duarte, por ter disponibilizado todo o material necessário para a realização deste projeto.

RESUMO

A eficiência energética e a domótica são temas que cada vez mais se relacionam. Ao se instalar uma solução de domótica numa habitação, é natural que a mesma ofereça opções que permitem poupar energia, e assim obter eficiência energética.

O principal objetivo deste projeto é a criação de um quadro elétrico que permita a monitorização e controlo de energia numa habitação à distância de um “clique”.

Para a concepção do quadro elétrico foram utilizados dispositivos da *Schneider Electric*, dos quais se destaca o EGX300. Este dispositivo, é comercializado como um produto que representa uma solução de eficiência energética. No entanto as suas funcionalidades de fábrica estão limitadas ao nível de análise da qualidade de energia, não oferecendo um sistema que possibilite controlo remoto. Aproveitando as capacidades do EGX300, foi considerado pertinente criar uma solução onde, além de se poder monitorizar os consumos, também fosse possível controlar os dispositivos através de um computador. À capacidade de controlo da instalação ainda se juntou um modo de funcionamento inteligente, onde o EGX300 controla a instalação elétrica de acordo com a energia produzida por um painel fotovoltaico.

A implementação de novas funcionalidades no EGX300 resulta num acréscimo significativo de robustez em relação à solução proposta pela empresa. Conseguiu-se criar uma solução que integra segurança e domótica com a utilização de energias renováveis, tendo como consequência natural a maximização de eficiência energética numa habitação.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Quadro Elétrico Inteligente, Domótica, Autoconsumo, Energia

ABSTRACT

Energy efficiency and home automation are issues that are more and more related too each other. When installing a home automation solution, it is natural that the same offers options that allow save energy and thereby obtain energy efficiency.

The main objective of this project is to create an electrical switchboard that allowing the monitoring and energy control in a house at the distance of a “click”. For this purpose we used various devices from Schneider Electric, amongst which the EGX300 gateway. This device now comes standard as a product that represents an energy efficiency solution, however its capabilities are limited to the level of power quality analysis, not offering a remote control system. Tanking advantage of the EGX300 capabilities it was considered interesting to create a solution where in addition to be able to monitor consumption it is also possible to control the devices through a computer. To join the capacity of control it was created an intelligent operation mode where the EGX300 controls the electrical installation according to the energy produced by a photovoltaic panel.

The implementation of new features in EGX300 results in a significant increase of robustness over the factory capabilities. It was possible to create a solution that combines safety and home automation with the use of renewable energy and as a natural consequence the maximization of energy efficiency in a house.

Keywords: Energy Efficiency, Smart panel, Home Automation, Self Consumption, Energy

CONTEÚDO

Conteúdo	xiii
Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas	xvii
Listagens	xix
Acrónimos	xxi
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento e Motivação	3
1.2 Objetivos e Contribuições	3
1.3 Estrutura da Tese	4
2 Estado de Arte	7
2.1 Domótica	9
2.2 Protocolos de Comunicação	9
2.2.1 X10	10
2.2.2 ZigBee	11
2.2.3 LonWorks	12
2.2.4 KNX	13
2.2.5 Comparação dos Protocolos	14
2.3 Produtos	15
2.3.1 WeMo	15
2.3.2 Re:dy	16
2.3.3 Circutor – Gama de Produtos	17
2.3.4 CSDP – <i>SmartPanel</i> da CES	18
2.3.5 Comparativo	20
2.4 Quadro Elétrico	21
3 Eficiência Energética	25
3.1 Protocolo de Quioto	27
3.2 Influência do Protocolo de Quioto	27

3.3	Como Alcançar Eficiência Energética	28
3.4	Novo Regime de Produção Distribuída	31
3.4.1	Autoconsumo	31
3.4.2	Pequena Produção	32
3.5	<i>Zero Energy Buildings</i>	34
3.6	Tecnologia Fotovoltaica	35
3.7	Quadro Elétrico Inteligente	38
3.8	Energias Renováveis e QEBT Inteligente	39
4	Arquitetura Proposta e Tecnologias Utilizadas	41
4.1	Arquitetura Proposta	43
4.1.1	Dispositivos de Comunicação	46
4.1.2	Dispositivos de Medição	47
4.1.3	Dispositivos de Proteção, Controlo e Sinalização	49
4.1.4	Outros Dispositivos	52
4.2	Arquitetura de Comunicação	53
4.2.1	Topologia de Rede	53
4.2.2	O protocolo ModBus	55
4.2.3	Configuração dos dispositivos na rede	59
5	Metodologia para aumento de Eficiência Energética em QEBT Inteligente	65
5.1	Metodologia Proposta	67
5.2	Implementação da Metodologia	73
5.2.1	Endereçamento, Mapa de Registos e Funções do protocolo ModBus	73
5.2.2	Desenvolvimento do Modo Manual	75
5.2.3	Desenvolvimento do Modo Inteligente	80
6	Conclusões	91
6.1	Considerações Finais	93
6.2	Trabalho Futuro	94
	Bibliografia	95

LISTA DE FIGURAS

2.1	Imagem representativa de como funciona o X10 através de um telecomando (Retirada de [11]).	11
2.2	Arquitetura de um sistema KNX. (Retirado de [2]).	13
2.3	Diagrama representativo do CSDP (Retirado de [5]).	18
2.4	Exemplo de uma casa inteligente usando CSDP e PV (Retirado de [5]).	20
2.5	Quadro Elétrico de uma habitação em Portugal.	22
3.1	Poupanças de energia ao longo do tempo relacionadas com etapas de poupança. Baseado em [37].	30
3.2	Esquema representativo de uma habitação em regime de Autoconsumo. Baseado em [26].	31
3.3	Esquema representativo de uma habitação em regime de Pequena Produção. Baseado em [26].	33
3.4	Gráfico representativo do alcance do estatuto ZEB.	34
3.5	Da célula fotovoltaica ao painel. Retirado de [22].	36
4.1	Arquitetura do quadro elétrico.	43
4.2	Esquema elétrico em CAD do quadro elétrico projetado.	45
4.3	Quadro Elétrico Inteligente desenvolvido.	46
4.4	O <i>gateway</i> EGX300.	47
4.5	Régua de Comunicação Smartlink.	47
4.6	Central de medida PM3255.	48
4.7	Contador de energia iEM3255.	48
4.8	Disjuntor iC60N de 1 polo.	49
4.9	Interruptor diferencial iID.	50
4.10	Sinalizador iOF + SD 24.	50
4.11	Telecomando RCA.	51
4.12	Controlo iATL24 associado ao relé iTLC.	51
4.13	Fonte de alimentação da gama ABL8.	52
4.14	Exemplo de tomadas encastradas no quadro.	53
4.15	Princípio da análise de dados num <i>SmartPanel</i>	53
4.16	Topologia de Rede da Arquitetura Proposta.	54
4.17	Rede de dispositivos que comunicam por ModBus.	55

4.18	Topologia de Comunicação entre o Mestre e os Escravos numa rede baseada no protocolo ModBus.	56
4.19	Imagem representativa de uma mensagem de dados em ModBus TCP/IP. . .	58
4.20	Configuração Ethernet TCP/IP do EGX300.	60
4.21	Configuração da porta série ModBus do EGX300.	60
4.22	Configuração da porta série ModBus do EGX300.	61
4.23	Configuração do endereço ModBus no Smartlink	62
4.24	Interface Ti24 disponível nos dispositivos e no Smartlink.	62
4.25	Cabo de ligação para as interfaces TI24.	63
4.26	Ligações do Smartlink aos aparelhos de distribuição elétrica de acordo com a Arquitetura Proposta.	63
4.27	Procura de dispositivos na rede ModBus a partir do EGX300.	64
5.1	Metodologia Proposta.	67
5.2	Página de monitorização de consumos correspondente a um contador de energia ou a uma central de medida.	68
5.3	Exemplo representativo de relatório de consumos.	69
5.4	Janela de configuração da exportação de dados.	69
5.5	Princípio do funcionamento do Modo Manual.	71
5.6	Página <i>web</i> destinada a comando manual.	71
5.7	Princípio primário do funcionamento do Modo Inteligente.	72
5.8	Página <i>web</i> do modo inteligente.	73
5.9	Dispositivos de Comando associados ao Smartlink.	77
5.10	Gráfico de potências representativo do teste realizado no Modo Manual. . . .	80
5.11	Gráfico de potências demonstrando o efeito da variação de cargas no PV. . . .	82
5.12	Fluxograma do Quadro Elétrico quando sujeito a variações de energia produzida pelo PV, e com uma carga ligada a um valor constante.	83
5.13	Gráfico de potências expondo o efeito causado na carga quando se verificam variações na energia produzida pelo PV.	84
5.14	Fluxograma do Quadro Elétrico quando sujeito a variações de energia produzida pelo PV, e com duas cargas ligadas a um valor constante.	85
5.15	Gráfico de potências expondo o efeito causado nas duas cargas quando se verificam variações na energia produzida pelo PV	87
5.16	Fluxograma do Quadro Elétrico na ocorrência de tentativas repetidas de ligação da carga.	88
5.17	Gráfico de potências expondo a resposta do quadro relativamente a tentativas seguidas de ligação de uma carga que passa o valor de produção do PV. . . .	88
5.18	Aviso de defeito elétrico na página <i>web</i> do Modo Inteligente.	89
5.19	Fluxograma do Quadro Elétrico para ocorrência de defeito elétrico	90
5.20	Gráfico de potências expondo o efeito de um defeito elétrico no quadro. . . .	90

LISTA DE TABELAS

2.1	Comparação dos Protocolos Expostos	15
2.2	Comparação dos Produtos Expostos.	21
3.1	As quatro condições para economizar. Baseado em [37].	30
3.2	Regras do regime de Autoconsumo. Baseado em [26]	32
3.3	Regras do regime de Pequena Produção. Baseada em [26]	33
3.4	Possíveis abordagens ao estatuto ZEB. Baseada em [9].	34
3.5	Vantagens e desvantagens das abordagens.	35
4.1	Descrição dos campos de uma mensagem ModBus RTU.	57
5.1	Mapa de registos dos dispositivos utilizados.	74
5.2	Funções disponíveis nos dispositivos utilizados.	75
5.3	Registos do Smartlink para dar ordens de abertura e fecho aos dispositivos. .	76
5.4	Registos de leitura de estado no Smartlink.	76
5.5	Ordens, Registos, Canais e dispositivos.	78
5.6	<i>Tags</i> atribuídas.	78
5.7	Registos ModBus usados para leitura de grandezas nos dispositivos de medida.	80
5.8	Registos de leitura correspondentes aos iOF+SD24 instalados.	81
5.9	Tags utilizadas para leitura dos dados relevantes dos dispositivos.	81

LISTAGENS

5.1	Código com ordem de abertura e fecho no RCA_3.	79
5.2	Código para leitura dos registos	79
5.3	Código correspondente ao critério de deslastre de cargas em relação à produção do PV.	86

ACRÓNIMOS

TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol and Internet Protocol</i>
EIB	<i>European Installation Bus</i>
EHS	<i>European Home Systems</i>
AC	<i>Alternate Current</i>
IFTT	<i>If This Then That</i>
EDP	<i>Energias de Portugal</i>
CES	<i>Computer Electricity Systems</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
ZEB	<i>Zero Energy Building</i>
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
EEIG	<i>European Economic Interest Grouping</i>
GEE	<i>Gases Efeito de Estufa</i>
UE	<i>União Europeia</i>
UPAC	<i>Unidade de Produção Autoconsumo</i>
CUR	<i>Comercializador do Último Recurso</i>
CIEG	<i>Custos de Interesse Económico Geral</i>
SEN	<i>Sistema Elétrico Nacional</i>
RESP	<i>Rede Elétrica de Serviço Público</i>
UPP	<i>Unidade de Pequena Produção</i>
PV	<i>Photovoltaic System</i>
QEBT	<i>Quadro Elétrico de Baixa Tensão</i>
SGE	<i>Sistema de Gestão de Energia</i>

ACRÓNIMOS

PDU *Protocol Data Unit*

HTML *HyperText Markup Language*

INTRODUÇÃO

Este primeiro capítulo aborda os temas principais que compõem a dissertação de mestrado relativa ao desenvolvimento de um quadro elétrico inteligente recorrendo a soluções comerciais da *Schneider Electric*.

Serão expostos os motivos que conduziram ao interesse em realizar este projeto, bem como os objetivos e contribuições referentes à sua concretização.

No final do capítulo é revelada a estrutura da dissertação, evidenciando os pontos essenciais relativos à realização dos objetivos propostos para o projeto.

INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento e Motivação

A automação em habitações residenciais sempre foi vista como uma solução para assegurar maior conforto, autonomia e segurança. Com o crescente sedentarismo da população, quer seja por motivos profissionais ou de saúde, e devido às vantagens inerentes à domótica, uma solução automatizada é cada vez mais vista como algo a investir. Hoje em dia, e cada vez mais, existem equipamentos nas nossas casas que melhoram a qualidade de vida e permitem reduzir consumos. Os eletrodomésticos inteligentes e os sistemas de controlo de iluminação são bons exemplos, contudo necessitam de interação humana. Este fato não permite atingir uma solução global em termos de eficiência energética.

Atualmente, é cada vez mais notória a preocupação global para problemas relacionados com o ambiente e a eficiência energética. Com isso, evidenciou-se um crescimento na procura de soluções de energias renováveis para habitações, sendo a aplicação de painéis solares a mais comum e acessível.

A grande motivação desta dissertação centra-se na criação de um sistema inteligente, que ofereça conforto, segurança e poupança de eletricidade de forma autónoma, que possa ser integrado com outras soluções de eficiência energética, como por exemplo, um sistema de produção de energia renovável. Adicionalmente, o sistema implementado tem em consideração a entrada em vigor do novo regime de produção distribuída, refletindo vantagens para os utilizadores nacionais.

1.2 Objetivos e Contribuições

O principal objetivo desta dissertação é o desenvolvimento de um quadro elétrico inteligente com base em soluções comerciais, mais propriamente o EGX300 e o Smartlink, ambos da *Schneider Electric*.

O EGX300 é um servidor-*gateway* que possibilita ao utilizador ter uma visão completa do consumo de energia da sua instalação, através de um computador ligado à rede do EGX300. Outra funcionalidade interessante, é a capacidade de criação de páginas *web* personalizadas, dando liberdade ao instalador ou consumidor para conceptualizar um sistema de gestão de energia.

Aproveitando as capacidades do EGX300 e do Smartlink, serão criadas duas páginas *web* com objetivos distintos. A primeira página é dedicada ao controlo de cargas do

quadro elétrico através do computador, premiando o conforto do utilizador e a gestão livre da instalação elétrica. A segunda página é destinada à gestão de energia de modo autónomo e inteligente, de acordo com a produção de energia proveniente de um painel fotovoltaico, e ainda tem a capacidade de apresentar ao utilizador informação em tempo real sobre a energia produzida e consumida no sistema.

A conceção das duas páginas *web* personalizadas apresentam um acréscimo significativo às funcionalidades, ditas normais, que o EGX300 apresenta de fábrica. Para além de monitorização de energia, o EGX300 ganha assim a capacidade de controlo à distância, e de gestão inteligente de energia de acordo com um sistema de produção local.

Em suma, os objetivos do projeto prendem-se com a criação de uma arquitetura baseada em produtos comercializados, mas também de uma metodologia que garante um acréscimo na eficiência energética de uma habitação com um painel fotovoltaico instalado.

1.3 Estrutura da Tese

Para além da Introdução, a dissertação está estruturada da seguinte forma:

2. Estado de Arte
3. Eficiência Energética
4. Arquitetura Proposta e Tecnologias Utilizadas
5. Metodologia para o Aumento de Eficiência Energética em QEBT Inteligente
6. Conclusões

No capítulo 2, Estado da Arte, é realizada uma breve introdução ao tema Domótica, seguida por uma apresentação e comparação dos protocolos de comunicação mais comuns no mercado residencial. Também são abordadas e equiparadas soluções de domótica e eficiência energética existentes no mercado. Para finalizar é exibido um enquadramento relativo ao quadro elétrico convencional.

O terceiro capítulo é destinado a temas relacionados com eficiência energética. Em primeiro lugar é abordado o Protocolo de Quioto e a sua influência a nível global, seguindo-se uma secção dedicada a métodos e ações de forma a alcançar eficiência energética. Ainda no seguimento do tema abordado, é apresentado o novo regime de produção distribuída em Portugal, o conceito de *Zero Energy Building*, como também será exposta uma secção dedicada à tecnologia fotovoltaica. Por fim é descrito o que se entende por quadro elétrico inteligente.

O capítulo 4 é reservado à apresentação da arquitetura proposta para o quadro elétrico inteligente. Aqui apresentam-se os dispositivos que constituem o quadro e as suas funcionalidades, bem como o protocolo de comunicação utilizado na arquitetura.

A metodologia proposta é exposta no capítulo 5, onde se apresenta uma metodologia vocacionada para o aumento de eficiência energética com base na arquitetura conceptualizada. São apresentadas as capacidades e vantagens da metodologia, bem como resultados obtidos face a testes implementados de modo a comprovar a robustez da arquitetura e da metodologia.

Por fim, o sexto capítulo é destinado a aferir as conclusões sobre o projeto realizado, onde é feita uma síntese do trabalho desenvolvido e apresentadas perspectivas de trabalho futuro.

ESTADO DE ARTE

Neste capítulo é apresentada uma secção inicial sobre o conceito de Domótica. Posteriormente, são exibidos alguns protocolos de comunicação relevantes na área de domótica, seguidos de uma secção destinada à apresentação de produtos e soluções existentes no mercado.

Para finalizar, é realizado um enquadramento teórico sobre a história e funcionalidades do quadro elétrico residencial.

ESTADO DE ARTE

2.1 Domótica

O termo Domótica está associado à automatização de habitações. Existe um paralelo entre o conceito de domótica e edifícios inteligentes, com objetivos comuns mas com diferente ênfase. Numa habitação privilegia-se o conforto, enquanto que nos edifícios, o aspeto mais relevante é a gestão energética [25]. Por um lado os edifícios representam um sistema mais complexo e envolvem um elevado número de utilizadores e fatores, estando a sua gestão a cargo de pessoas especializadas. Relativamente a habitações o panorama é outro, pois o número de utilizadores é relativamente reduzido e por norma são os próprios que gerem o sistema, como tal espera-se que seja o mais simples possível [25].

As funcionalidades mais importantes num sistema de domótica são [25]:

- Automatização de uma habitação com vista a melhorar o conforto;
- Segurança e Proteção;
- Monitorização e gestão de consumos de energia.

A domótica despertou grande interesse no sector empresarial, por consequência vários sistemas, suportados em diferentes protocolos, emergiram no mercado. Cada protocolo e cada sistema possui características distintas. Apresenta-se de seguida, de uma forma sucinta, alguns dos protocolos mais utilizados na área da domótica.

2.2 Protocolos de Comunicação

Um protocolo de comunicação rege a maneira como os diversos elementos de um sistema de comunicação trocam informação entre si. São definidas regras relativamente à maneira como as mensagens são processadas e codificadas, como também ao seu formato, significado e meios de transmissão [21].

Existe uma grande variedade de protocolos para um número elevado de aplicações [21]. O cenário ideal para os fornecedores e utilizadores dos equipamentos, seria a padronização dos programas e produtos. Cada dispositivo numa rede de comunicação tem de suportar o protocolo utilizado, como também deverá ter a mesma versão, pois quaisquer diferenças, tanto na versão como no protocolo, originará erros de comunicação [21].

Utilizar um protocolo considerado *standard* da indústria traz vantagens para os utilizadores, visto que podem adquirir qualquer tipo de dispositivo sem ficarem impossibilitados de comunicar com aparelhos de outro fabricante. Além disso, o fabricante dos produtos também encontra vantagens ao utilizar um protocolo *standard* nos seus dispositivos.

Atualmente existem vários protocolos de comunicação no mercado. Nesta secção dá-se ênfase aos protocolos mais utilizados no âmbito da domótica habitacional:

- X10
- ZigBee
- LonWorks
- KNX
- ModBus

No caso particular do Modbus, este será apresentado posteriormente no capítulo da Arquitetura do Sistema, visto ser o protocolo utilizado no presente trabalho.

2.2.1 X10

Desenvolvido em 1975 pela empresa Pico Electronics , em Glenrother, Escócia, foi o primeiro protocolo que veio permitir o controlo remoto de dispositivos electrónicos numa habitação através de uma rede Powerline (utilização da rede elétrica para transmissão de dados) [34].

O sistema é constituído por vários módulos controladores, variando com o tipo de aplicação desejada e pelos módulos recetores/atuadores [11]. Os controladores podem estar diretamente ligados a uma tomada, ou podem ser um telecomando que transmite através de radiofrequência para um recetor, que por sua vez envia sinais digitais codificados através da rede, exemplificado na Figura 2.1. Estes sinais vão ser recebidos por um atuador que se encarrega de ligar/desligar o aparelho [11].

Ao ser utilizada a rede elétrica como meio de comunicação entre os dispositivos, o protocolo deverá ter uma solução para distinguir os dispositivos que devem receber esse mesmo sinal [11]. Para isso utiliza um sistema simples de endereçamento, onde os módulos controladores são definidos com um código de 4 bits , utilizando as letras de A a P. Os módulos atuadores são também definidos com um código de 4 bits, mas utilizam os números de 1 a 16. De notar que os códigos são selecionados nos dispositivos [11].

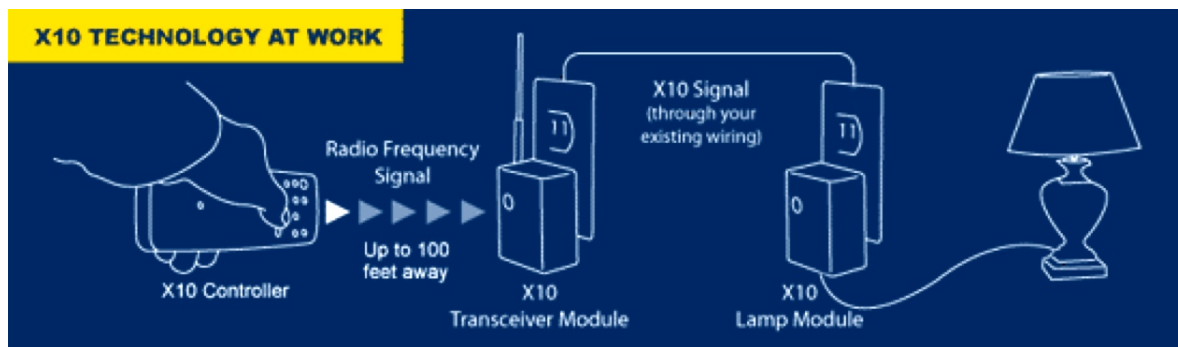


Figura 2.1: Imagem representativa de como funciona o X10 através de um telecomando (Retirada de [11]).

O X-10 é o protocolo de domótica mais usado no mundo devido ao seu baixo custo, à grande variedade de equipamentos e à facilidade de uso e instalação [11]. As grandes vantagens deste protocolo em relação a outros é a facilidade em adquirir e instalar dispositivos que comunicam através deste protocolo [11]. Apesar de tudo o X-10 não preenche todas as necessidades e possui algumas limitações. Os transmissores apenas são capazes de realizar operações simples [11]; existe a impossibilidade de fazer cálculos de consumos energéticos como não suporta mais que um comando ativo ao mesmo tempo, pois causaria uma colisão e o protocolo não tem capacidade de lidar com esse problema [29]. Por último, apresenta problemas em habitações que utilizam mais que uma fase na instalação elétrica [29] e está mais vocacionado para a utilização no mercado Norte Americano [1].

2.2.2 ZigBee

Utilizando como base o standard IEE 802.15.4, o protocolo ZigBee foi concebido pela *ZigBee Alliance* de maneira a desenvolver-se um protocolo de comunicação que pudesse ser utilizado em ambientes variados (e.g: indústria, comércio e habitação) em que não se exigem taxas de transmissão elevadas [17].

O ZigBee acrescentou ao conjunto de funcionalidades do IEE 802.15.4 a implementação de três tipologias de rede: em malha, em estrela e em árvore. Os principais componentes das redes são o coordenador, os *routers* e os clientes [17]. O protocolo foi estruturado de maneira a que, independentemente da localização dos dispositivos de receção e envio de dados, a rede se forme automaticamente sem necessitar da configuração do utilizador [17].

Um sistema baseado no protocolo ZigBee tem a seu favor uma instalação simples e de baixo custo. A manutenção e consumo energético são relativamente baixos, em comparação com dispositivos a correr outros protocolos, e as conexões entre os dispositivos são seguras [15]. O sistema é auto configurável [15] e suporta a utilização de dispositivos para monitorização de consumos elétricos.

Porém, o facto de funcionar apenas via rádio, pode criar algumas limitações em termos de obstáculos físicos presentes no ambiente de instalação, como também pode criar interferência com outro tipo de rádio frequências. A necessidade de adquirir equipamentos compatíveis com este protocolo rapidamente se pode tornar um entrave para muitos clientes, que pretendam adquirir um sistema de domótica para a sua habitação.

2.2.3 LonWorks

O protocolo LonWorks, também conhecido por protocolo LonTalk, é considerado a parte essencial de um sistema LonWorks. O protocolo fornece um leque de serviços de comunicação que permite à aplicação de cada dispositivo na rede, enviar e receber mensagens entre dispositivos sem ter a necessidade de conhecer a topologia da rede, ou os nomes dos dispositivos, ou os endereços [15]. Suporta uma gestão remota, o que permite interagir com todos os dispositivos ao longo da rede, incluindo reconfiguração dos endereços e parâmetros, download de programas de aplicação para os dispositivos, avisos de problemas na rede, como por exemplo colisões de mensagens ou mensagens não recebidas no seu todo, e ainda possibilita o *start*, *stop* e *reset* das aplicações de cada dispositivo [15].

O LonWorks é um protocolo de comunicação que possui uma arquitetura baseada em camadas, de acordo com o modelo OSI. Apesar disto é um protocolo desenhado para sistemas de controlo, logo cada camada foi adaptada de maneira a corresponder com uma solução que fornece um sistema com poderes de reabilitação, boa performance e comunicações robustas que são requisitos importantes para uma aplicação de controlo [15].

As comunicações na rede consistem na troca de pacotes entre os dispositivos da rede. Cada dispositivo num canal “vê” todos os pacotes transmitidos nesse mesmo canal e processa os que forem dirigidos a si e, se for necessário, é possível o envio de uma resposta para o dispositivo que enviou esse mesmo pacote [15].

Um dos pontos fortes deste protocolo é ser independente do meio de comunicação, pode-se utilizar redes TCP/IP, rede elétrica, linha telefónica, rádio e fibra ótica [15]. Ao funcionar em redes TCP/IP, existe a possibilidade de desenvolver um *web service* destinado ao controlo e manutenção dos dispositivos da rede [24].

Uma ponto fraco deste sistema é a velocidade de comunicação. Apesar da comunicação através da fibra ótica poder atingir velocidades até 1.25 Mbps, os outros meios de comunicação disponíveis possuem velocidades mais reduzidas, tornando-se uma limitação em aplicações que possuam grande tráfego de informações e necessidade de uma resposta em tempo real[24].

2.2.4 KNX

O KNX, foi criado em 14 de Abril de 1999, baseado nos protocolos Batibus, EIB e EHS. A sua criação teve como objetivo base a criação de um *standard* europeu de domótica para habitações e edifícios [10].

Habitualmente, o KNX, é implementado de acordo com uma arquitetura descentralizada, ou seja, os dispositivos têm controlo sobre si e comunicam entre si sem necessidade de um dispositivo de supervisão, ou um dispositivo mestre. Se for necessário, também é possível criar uma arquitetura centralizada, no entanto será necessário integrar um sistema de controlo para gerir a rede. Por norma este sistema é acessível através de um computador, que ao estar ligado à rede permite uma gestão centralizada do sistema (e.g: página *web* num *browser*), como se pode constatar na Figura 2.2.

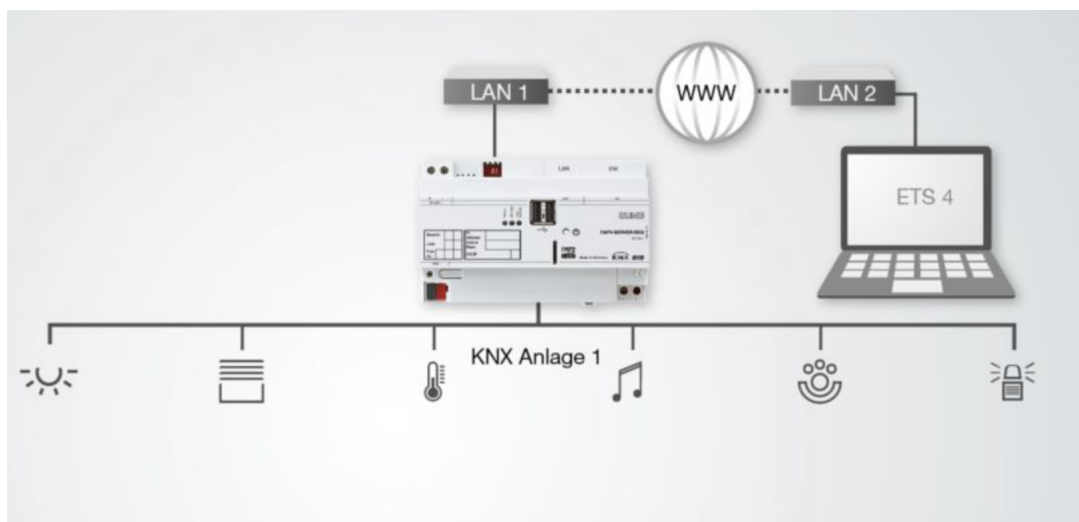


Figura 2.2: Arquitetura de um sistema KNX. (Retirado de [2]).

Uma das vantagens que o protocolo KNX trouxe em relação ao protocolo EIB é o número de meios de transmissão disponíveis. No EIB, o único meio de transmissão suportado era o par trançado, e agora com a evolução para o KNX também se tornou possível transmitir utilizando a rede elétrica, rádio frequência, infravermelho ou Ethernet.

O protocolo tem três modos diferentes de configuração: [30]

- **S-Mode:** A complexidade da configuração deixa de estar a cargo do dispositivo e passa a estar a cargo de um software de configuração chamado ETS. Para este tipo de configuração ser realizada, o ETS tem de ter uma base de dados dos dispositivos de cada fabricante, incluindo as respetivas funcionalidades. Assim, os fabricantes dos dispositivos estão encarregues de criar *templates* dos dispositivos e de os atualizarem sempre que for necessário. Os *templates* são fornecidos aos clientes no momento da compra do dispositivo, de modo a possibilitar a sua utilização no software. É o modo mais utilizado, porque tem uma implementação simples.

- **E-Mode:** Neste modo os dispositivos vêm configurados de fábrica para realizar funções concretas mediante o tipo de instalação à qual está destinado. Ainda assim, devem ser configuradas algumas definições no local da instalação.
- **A-mode:** Ao contrário dos modos anteriores, este utiliza uma filosofia *Plug & Play*. É direcionado para utilizadores inexperientes e para instalações que não sofrem alterações regularmente, como por exemplo na utilização em eletrodomésticos. Inclui mecanismos de auto configuração, o que permite mobilidade dos dispositivos de uma instalação para a outra.

Relativamente a uma aplicação residencial, o protocolo KNX oferece as seguintes vantagens:

- Além da utilização uma tensão de 230V AC para alimentar os dispositivos KNX, também é possível instalar produtos KNX de 24V AC/DC de modo a tornar a instalação mais segura para o utilizador;
- Maior simplicidade na instalação. A cablagem é mais simples, com todos os dispositivos ligados por 2 fios ao bus;
- Facilidade em mudanças e expansão da rede. Em uma instalação tradicional é necessário alterar cablagem quando se quer realizar alterações, enquanto que numa instalação bus as únicas alterações a efetuar são a nível de *software*. No caso de ampliação, a cablagem num sistema KNX também é mais simples de executar.

A desvantagem mais relevante neste sistema é o preço elevado dos componentes em relação a outros sistemas mais convencionais.

2.2.5 Comparação dos Protocolos

Após ter sido realizada uma abordagem técnica relativa ao funcionamento dos protocolos de comunicação, apresenta-se na Tabela 2.1, uma comparação dos protocolos relativamente às suas características mais relevantes na ótica do consumidor final.

Tabela 2.1: Comparação dos Protocolos Expostos

Protocolos	X10	ZigBee	LonWorks	KNX
Facilidade de Instalação	Alta	Média	Média	Média-Alta, dependendo do modo
Número máximo dispositivos por rede	256	65000	$1 \cdot 10^9$	65536
Comunicação bidirecional	Sim	Sim	Sim	Sim
Meios Físicos de Comunicação	<i>Powerline</i> Radiofrequência Infravermelhos	Radiofrequência	Powerline Par trançado Radiofrequência Infravermelhos Cabo coaxial Fibra ótica	Par trançado Powerline Radiofrequência Infravermelhos Ethernet
Preço	Baixo	Baixo[7]	Médio	Alto

2.3 Produtos

Ao longo dos anos, o mercado da domótica tem crescido, e atualmente encontra-se em forte expansão. Existem as mais variadas soluções no mercado para quem quer tornar a sua casa mais "inteligente" e assim, poupar na conta elétrica ao final do mês. Neste capítulo serão referenciados alguns exemplos de soluções existentes no mercado.

2.3.1 WeMo

O WeMo é uma gama de produtos, criados pela Belkin, que possibilita controlar, via Internet, dispositivos da habitação. Esses produtos são constituídos por sensores de movimento (*WeMo Motion*), interruptores (*WeMo Light Switch*), Lâmpadas (*WeMo LED Lighting*) e tomadas (*WeMo Switch* e *WeMo Insight Switch*) [3].

A proposta da Belkin baseia-se na utilização de uma aplicação para IOS ou Android, onde com algumas configurações básicas, é possível controlar todos os aparelhos WeMo presentes na habitação, a partir de qualquer local no mundo, desde que ligado a uma rede Wifi ou à Internet do *smartphone*. O controlo via Internet é possível porque o sistema usa como protocolo de comunicação a norma 802.11, mais conhecido por WiFi, o que torna todos os produtos acessíveis, através da Internet [23].

Em conjunto, todos os produtos permitem realizar as mais variadas funções, tais

como, a programação de horários de funcionamento dos dispositivos, a medição de energia consumida pelos dispositivos, o cálculo monetário da energia consumida e ligar ou desligar dispositivos elétricos ou luzes [23].

Outro aspeto positivo deste produto é o facto de trabalhar com o serviço IFTTT, o que permite a interligação com outras aplicações, aumentando as funcionalidades do sistema [3]. Por exemplo, ser avisado para o email do *Gmail* que o sensor instalado na porta foi ativado o que pode indicar a entrada de um individuo na habitação.

O WeMo é uma boa solução para quem procura ter uma habitação “inteligente” sem a necessidade de configurações complicadas ou conhecimentos técnicos sobre domótica. Infelizmente, já foi encontrada uma falha de segurança no sistema, o que permitiu a um utilizador não autorizado entrar na rede e controlar todos os dispositivos [14].

2.3.2 Re:dy

Re:dy é um sistema criado pela EDP em 2013, com o intuito de controlar e medir o uso de energia elétrica em casa, através de um *smartphone*, *tablet* ou computador com ligação à Internet.

O sistema é constituído por três componentes, a Re:dy Box, o Re:dy Meter e o Re:dy Plug [33].

A Re:dy Box é o módulo central do sistema. Este é ligado remotamente ao contador da EDP e encontra-se encarregue de receber e processar dados do consumo elétrico da habitação e dos equipamentos ligados [33].

O Re:dy plug são tomadas que se ligam aos equipamentos de modo a controlar remotamente e gerir os respetivos consumos. Estas tomadas “inteligentes” transmitem os seus dados de consumo do respetivo equipamento para a Re:dy Box [33].

Por fim, ainda há a possibilidade de adquirir um Re:dy Meter, que é um equipamento que se instala diretamente no quadro elétrico e permite assim ao utilizador controlar circuitos, como por exemplo circuitos de iluminação, ou outro tipo de circuitos que não sejam possíveis de controlar através do Re:dy Plug [33].

O Re:dy permite, a um utilizador comum e sem experiência na área da domótica, ter a possibilidade de tornar a sua habitação mais eficiente e controlável através de variadas funcionalidades disponíveis, como por exemplo: eliminar o consumo de *standby* de alguns equipamentos, aproveitar a tarifa bi-horária para ligar equipamentos de elevado consumo, programar alertas, definir um máximo mensal de gasto e ser avisado antes de chegar a esse limite, receber avisos quando equipamentos importantes se desligarem, receber relatórios personalizados de acordo com o seu perfil de gastos, etc [33].

Segundo a EDP, o Re:dy possibilita economizar cerca de 10% a 20% na despesa da eletricidade [12], mas apesar disso, o pacote base custa 99€ e é constituído por uma Re:dy Box, dois Re:dy Plug e uma aplicação para o *smartphone* e *tablet*, o que só torna controlável dois equipamentos elétricos, e além disso ainda é necessário pagar uma mensalidade de

5,9€ [33]. Se o cliente quiser Re:dy Plugs adicionais ou ter um Re:dy Meter para controlar circuitos no quadro elétrico terá de pagar mais além do já pago no pacote base. Por isso, com tanto investimento inicial e a mensalidade obrigatória, não se sabe ainda até que ponto “ os 10% a 20% ” de poupança aclamada pela EDP será compensatória.

2.3.3 Circutor – Gama de Produtos

A empresa *Circutor* criou uma gama variada de produtos comunicáveis entre si, que juntos conseguem criar um sistema de domótica e de gestão de energia consumida, e são aplicados diretamente no quadro elétrico [4].

O primeiro produto a ter em conta, e talvez o mais importante, é o EDS. O EDS é um gestor de energia que contém o *software PowerStudio* (é compatível com vários equipamentos e tem variadas funcionalidades, sendo a mais importante, o estudo de energia), um *webserver*, e um porta de comunicação baseada em RS-485 que permite ligar a vários produtos. Com este produto é então possível criar uma ligação Ethernet, definir um leque variado de alarmes, por exemplo alarmes via email, e ainda criar eventos automáticos. Estas funcionalidades permitem assim, numa aplicação doméstica, o controlo do consumo elétrico e a sua racionalização [4].

Para o EDS ter conhecimento do consumo energético, necessita de uma central de medida, e um dos mais indicados seria qualquer um da família "MKD series". As centrais de medida desta gama possibilitam a medição de energia ativa e reativa consumida e gerada, suporta até três tarifas diferentes, e ainda tem a opção de vir com comunicação RS-485 Modbus para permitir a comunicação com outros produtos [4].

Para o controlo de cargas, pode-se utilizar uma central de proteção da família CBS4-RA. Qualquer central desta gama de produtos é constituída por quatro relés de proteção independentes e programáveis, que em conjunto com a comunicação RS-485, opcional neste modelo, permite, em conjunto com o EDS, ligar e desligar cargas remotamente de maneira a racionalizar gastos energéticos da habitação e tornar vários circuitos da habitação controlável (por exemplo as luzes da sala).

Por último, para clientes que possuam um painel fotovoltaico nas suas habitações, existe um produto chamado CDP-G [4]. Esta gama foi criada de maneira a que nenhuma energia seja injetada na rede, e assim toda a energia produzida pelo painel é injetada diretamente na habitação [4]. Permite ainda uma monitorização desta energia através da Internet [4]. Este último produto é ideal para países onde não se pode vender energia renovável aos produtores de energia, mas no caso de Portugal, poderia ser desvantajoso visto que podemos tirar partido dessa energia excedente produzida pelo PV e vender à EDP, lucrando com isso.

O facto dos circuitos serem todos controláveis diretamente no quadro, torna mais segura e precisa a medição e controlo da energia numa habitação, o que se torna em uma vantagem em relação a outros sistemas de domótica. O grande senão, é o facto de ser de

difícil instalação para pessoas sem qualquer conhecimento na área.

2.3.4 CSDP – *SmartPanel* da CES

O CSDP é um quadro elétrico inteligente criado pela empresa *Computer Electricity Systems* (CES). Este quadro exclusivo, que substituí o quadro elétrico convencional, permite ao consumidor final ter um sistema focado na redução do consumo energético, poupança de dinheiro, sem esquecer as questões ambientais [5]. Ao usar dispositivos elétricos avançados e tecnologias de comunicação, esta solução monitoriza e controla todos os circuitos elétricos da instalação.

O CSDP, mantém, e até melhora, todas as funcionalidades de um quadro elétrico convencional adicionando funções otimizadas, controlo local e remoto, e um gestor de manutenção “*web-based*”. A informação disponível e as funções de controlo oferecem aos utilizadores a possibilidade de fazerem decisões conscientes do uso da energia elétrica.

A montagem deste quadro elétrico inteligente, é igual à de um quadro elétrico convencional mas, ao contrário do habitual, é vendido em bloco, ou seja, compra-se o quadro inteiro e não às peças. O quadro está disponível com uma configuração de 9, 18 ou 24 circuitos, vide Figura 2.3 [5].

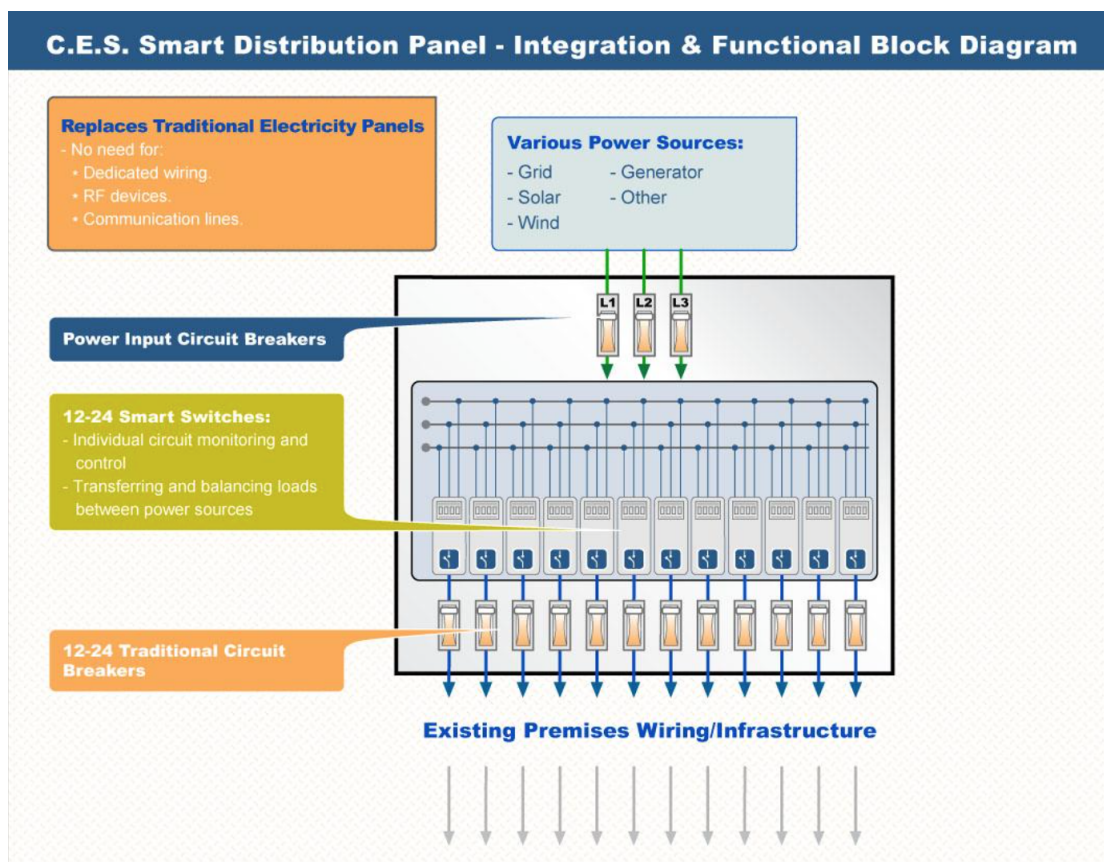


Figura 2.3: Diagrama representativo do CSDP (Retirado de [5]).

Em termos de segurança o CSDP mostra uma grande melhoria em relação a um quadro elétrico convencional, nomeadamente:

- Previne o corte geral do quadro quando o valor total de corrente excede o máximo permitido pelos circuitos;
- Previne incêndios ao detetar circuitos ou fios que estejam com uma má conexão ou com algum defeito na cablagem, cortando automaticamente a eletricidade;
- Protege contra descargas elétricas provocadas por relâmpagos;
- Corta um circuito que esteja a alimentar alguma aplicação, e a mesma exceda os 90°C.

Relativamente à comunicação, o CSDP suporta comunicação via RF ou Internet (GPRS ou Ethernet) [5]. Está disponível uma página web de controlo e monitorização, onde o utilizador pode controlar remotamente as cargas, monitorizar consumos, verificar o estado da instalação, entre outros. Também suporta comunicação com dispositivos na mesma rede através de Modbus RTU. Além disto, pode suportar WiFi e Zigbee para comunicar com outros dispositivos, mas só a pedido especial à empresa [5].

Algo interessante neste *Smartpanel*, que não é habitual em outros produtos de domótica e eficiência energética, é a conciliação da fonte primária de energia com uma fonte de energia renovável. O CSDP tem a capacidade de eliminar a necessidade de consumir energia da fonte primária, e ir buscar as necessidades energéticas a fontes alternativas. No caso de estar ligado a um painel fotovoltaico, o quadro tem capacidade de mostrar ao utilizador quando energia já foi produzida, as poupanças realizadas e quando dinheiro já ganhou por injeção de eletricidade na rede elétrica. A Figura 2.4 mostra o exemplo de a utilização do CSDP numa habitação.

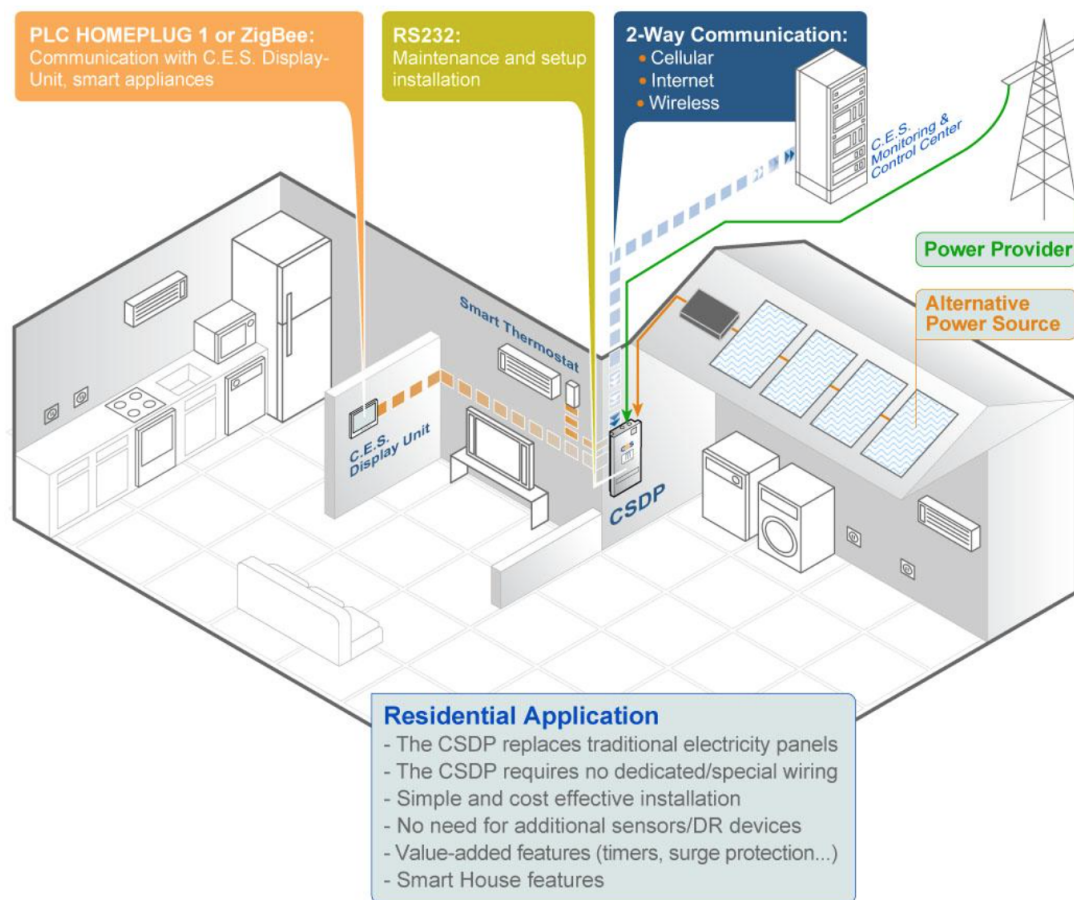


Figura 2.4: Exemplo de uma casa inteligente usando CSDP e PV (Retirado de [5]).

Destacam-se como principais características do quadro CSDP, a capacidade de fornecer informação detalhada e em tempo real, do consumo de cada circuito e da energia produzida pela fonte de energia alternativa. Além disso, sendo uma solução modular, possui fácil instalação e é simples de operar. Por fim, destaca-se a possibilidade de integração com fontes de energia renováveis.

2.3.5 Comparativo

Após ter sido realizada uma abordagem técnica relativa ao funcionamento dos protocolos de comunicação, apresenta-se na tabela 2.2, uma comparação dos protocolos relativamente às suas características mais relevantes na ótica do consumidor final.

Tabela 2.2: Comparação dos Produtos Expostos.

Produtos	WeMo	Re:dy	Circutor	CSPD
Facilidade de Instalação	Alta	Alta	Baixa	Alta
Preço	Médio	Médio/Baixo	Alto	Alto
Comunicação	Sim	Sim	Sim	Sim
Monitorização de Consumos	Sim, mas por dispositivo	Sim	Sim	Sim
Adaptável à Instalação Existente	Sim	Sim	Sim	Sim, mas tem de trocar de quadro elétrico, visto que é vendido em monobloco
Integração com Energias Renováveis	Não	Sim	Possível	Sim
User Friendly	Sim	Sim	Não	Sim

2.4 Quadro Elétrico

A eletricidade trouxe várias vantagens, e rapidamente se tornou uma necessidade, tanto a nível industrial como a nível comercial e residencial. Com isto também nasceu a necessidade de se criar um método para distribuir eletricidade nas instalações. Apesar de os cabos elétricos terem capacidade de distribuir eletricidade, não conseguem proteger a instalação ou o humano de curto circuitos, picos de corrente ou fugas à terra. De modo a garantir proteção, foi arquitetada uma solução chamada quadro elétrico.

“O quadro elétrico consta de um conjunto de diversos aparelhos de proteção e manobra agrupados numa ou mais colunas adjacentes; este conjunto deve ser assemblado de forma apropriada, de forma a satisfazer os requisitos de segurança e cumprir as funções para as quais foi concebido.”[7] Os requisitos citados prendem-se com o cumprimento das normas IEC. O quadro elétrico compreende um contentor e a aparelhagem elétrica composta pelos dispositivos, pelas ligações internas e os bornes entrada e de saída para a instalação [7].

Segundo as regras da boa arte um quadro elétrico residencial é constituído por um disjuntor geral, também conhecido por disjuntor de entrada, e vários disjuntores pequenos distribuídos de modo individual por todos os circuitos.. Alguns quadros também podem ter um interruptor diferencial como proteção. As normas para o dimensionamento

de um quadro elétrico variam de país para país, mas o princípio básico de distribuir energia para circuitos individuais garantindo controlo e segurança mantêm-se. Na Figura 2.5 apresenta-se uma foto de um quadro elétrico comum em habitações portuguesas.

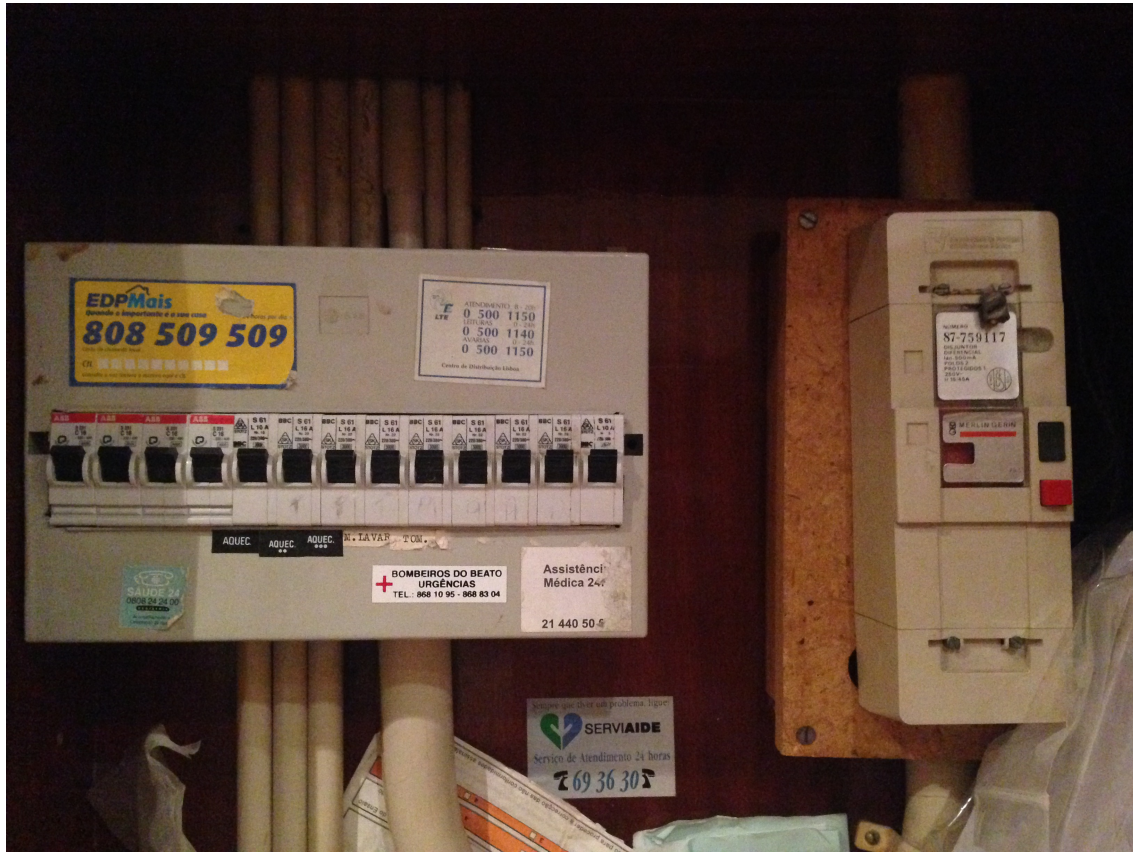


Figura 2.5: Quadro Elétrico de uma habitação em Portugal.

Um quadro de distribuição elétrica pode ser usado como monofásico ou trifásico, conforme a instalação e a respectiva alimentação do quadro.

Para além da distribuição elétrica, o quadro elétrico oferece proteção aos utilizadores contra choques elétricos, deteta fugas de corrente à terra, que poderiam causar um incêndio na habitação, e protege os equipamentos da instalação contra sobre-cargas elétricas.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Este capítulo é destinado à abordagem de temas relacionados com a eficiência energética. Inicia-se com uma abordagem ao Protocolo de Quioto e as suas influências globais, seguido de uma secção referente a passos para alcançar eficiência energética. Posteriormente, é exposto o novo regime de autoconsumo em Portugal, o que se entende por ZEB, e explicado em que consiste a tecnologia fotovoltaica. Por último, é apresentado o que se entende por Quadro Elétrico Inteligente e quais as vantagens inerentes à sua integração com soluções de energia renovável.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

3.1 Protocolo de Quioto

O Protocolo de Quioto é um acordo internacional ligado à UNFCCC com vista a combater as alterações climáticas através de “compromissos quantificados de limitação ou redução das emissões dos seis principais gases com efeito de estufa (GEE) por si regulados e tendo em vista uma redução global das mesmas em, pelo menos, 5% abaixo dos níveis de 1990” [20].

Reconhecendo que os países desenvolvidos são os principais responsáveis pelos níveis altos de emissões de GEE para a atmosfera, como resultado de mais de 150 anos de atividades industriais, o protocolo coloca mais responsabilidades nas nações desenvolvidas ao abrigo do princípio “Responsabilidades comuns mas diferenciadas” [39].

3.2 Influência do Protocolo de Quioto

O protocolo de Quioto fez com que os governos decretassem compromissos em termos de agendas específicas e metas quantitativas, de modo a reduzir as emissões de CO₂ [37]. Além das obrigações estabelecidas pelo protocolo de Quioto, vários países definiram metas a longo prazo, de acordo com as recomendações feitas pelo EEIG à UNFCCC, relativamente à poupança de energia e redução dos consumos de CO₂ [37].

A União Europeia está a ser um bom exemplo de compromisso, tendo os seus líderes assinado um acordo conhecido como 3x20 [37]. Este acordo visa reduzir em 20% as emissões de CO₂, aumentar a eficiência energética em 20% e aumentar em 20% o contributo das energias renováveis, com uma meta até 2020 [37]. Alguns países europeus preveem uma redução de 50% até 2050, mas para atingir os objetivos serão necessárias mudanças significativas, tais como o cumprimento das regulamentações, da legislação e das normas, por parte dos Estados [37]. Seguem-se exemplos de legislações aplicadas [37]:

- **União Europeia**

- Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios (Diretiva 2010/31/UE);
- Regime de Comércio de Emissões da UE;

- Diretiva Europeia EcoDesign (2009/125/EC) relativamente a *Energy Using Products* (EUP) e *Energy Related Products* (ERP);
- A diretiva *Energy End-use Efficiency and Energy Service* (2006/32/EC)[europa.eu].

- **Estados Unidos**

- Política de Energia, Ato de 2005;
- Regulamentos de Construção;
- Regulamentos de Energia (10CFR434);
- Programas de gestão de energia para vários estados (10CFR420);
- Regras para a conservação da energia nos produtos de consumo(10CFR430).

- **China**

- Lei de Conservação da Energia;
- Lei de Arquitetura, relativamente a eficiência energética e construção;
- Lei das Energias Renováveis;

Portugal, sendo membro da UE, está vinculado ao protocolo de Quioto de forma a contribuir para o alcance, europeu e internacional, dos objetivos propostos. “No quadro da União Europeia e das obrigações decorrentes do Protocolo de Quioto, Portugal deve limitar o aumento das suas emissões em 27%, em relação a 1990” [20].

3.3 Como Alcançar Eficiência Energética

Apesar de atualmente ser possível alcançar uma economia de energia até 30%, esta possível redução só pode ser realmente percebida em termos da diferença que existe entre as formas ativas e passivas de alcançar eficiência energética [37]. Medidas como a redução de perdas por calor e utilização de equipamentos de consumo reduzido são consideradas formas passivas. Por outro lado, a construção de uma infraestrutura que execute medição, monitorização e controlo de energia é uma forma ativa de alcance de eficiência energética [37].

É possível alcançar melhores poupanças, através da realização de análises ao sistema e da introdução de medidas corretivas mais adequadas. Por exemplo, apesar de ser exequível atingir uma poupança entre 5% e 15% através de uma melhoria da utilização das instalações ou através da otimização do próprio equipamento, mais poupanças são possíveis de obter [37]:

- Até 40% em energia consumida pelos motores, utilizando mecanismos de controlo e automação para gerir os sistemas [37];
- Até 30% em iluminação, instalando um mecanismo automatizado com o intuito de otimizar a utilização [37].

Apesar das poupanças conseguidas, é importante ter-se em conta que a economia de energia alcançada pode ser perdida ao longo do tempo através de [37]:

- Um período de inatividade não planeado, que afeta os equipamentos e processos;
- Falta de mecanismos de automação (motores e aquecimento);
- A incapacidade de garantir que as medidas de poupança implementadas consigam ser aplicadas a todo o momento sem interrupções.

Uma abordagem realista será a de primeiro estabelecer uma identidade para os consumidores e adotar medidas passivas seguidas de medidas ativas de poupança de energia. Após esta etapa, a implementação de dispositivos de controlo que garante que todas as economias realizadas possam ser sustentadas a longo prazo [37]. Tal abordagem, trata-se de um processo constituído por quatro etapas, descrito na Tabela 3.1:

- A primeira etapa trata-se de um diagnóstico com o objetivo de fazer um balanço de como a energia é consumida. Isto requer o desenvolvimento de medidas iniciais e de um processo de avaliação com o objetivo de avaliar o desempenho, e posteriormente definir as principais áreas a melhorar e calcular os níveis de poupança exequíveis. A lógica por de trás desta abordagem é baseada na perceção de que só se pode melhorar o que se consegue medir [37].
- A etapa seguinte envolve o estabelecimento de requisitos básicos em termos de eficiência energética passiva, como por exemplo: substituir os equipamentos existentes por alternativas de baixo consumo, melhorar o isolamento térmico e garantir que os suportes que garantem a qualidade da energia trabalhem num ambiente estável onde as poupanças podem ser mantidas ao longo do tempo [37].
- A terceira etapa envolve automação e eficiência energética ativa. Qualquer dispositivo responsável por consumo deve ser submetido a um processo de manutenção ativa de modo a alcançar poupanças permanentes. A eficiência energética ativa não requer dispositivos bastante eficientes, e pode ser aplicada em todo o tipo de equipamentos. Uma boa gestão é essencial para se obter a máxima eficiência. Por exemplo não faz sentido ter lâmpadas de baixo consumo se estas vão estar ligadas em salas vazias, desperdiçando energia. Considerando tudo, a gestão de energia é a chave para uma utilização otimizada e eliminação do desperdício [37].
- A etapa final consiste na implementação de mudanças básicas, introduzir automação e por em prática uma infraestrutura baseada em monitorização, suporte e melhoramento contínuo. Esta infraestrutura e os processos associados a ela irão apoiar a procura da eficiência energética ao longo dos anos [37].

Tabela 3.1: As quatro condições para economizar. Baseado em [37].

Quantificar	Implementação de Medidas Básicas	Automação	Monitorizar e Melhorar
Contadores de Energia (kWh)	Dispositivos de baixo consumo	Sistema de gestão de edifícios	Software de gestão de energia
Analisador de qualidade de energia	Materiais isolantes	Sistemas de controlo de iluminação	Sistemas remotos de monitorização
	Melhoria da qualidade de energia	Sistemas de controlo de motores	
		Sistemas de controlo de habitação	

A Figura 3.1 mostra que poupanças de energia até 30% são facilmente possíveis seguindo as etapas mencionadas na Tabela 3.1. Embora se possa esperar perdas anuais na casa dos 8%, se não existir um suporte e acompanhamento dos indicadores chaves.

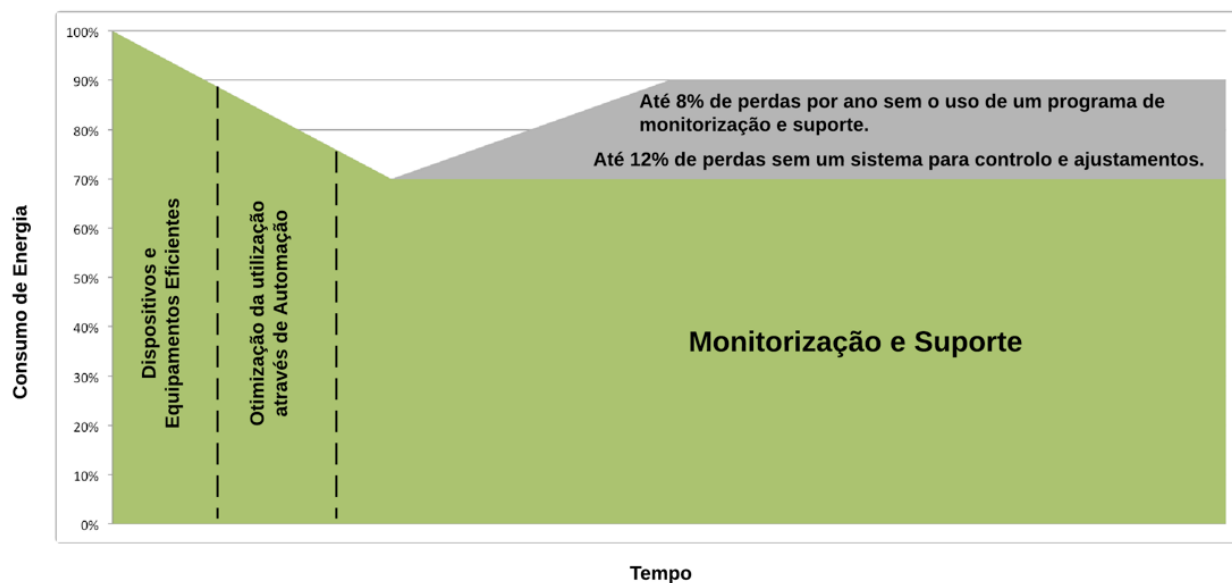


Figura 3.1: Poupanças de energia ao longo do tempo relacionadas com etapas de poupança. Baseado em [37].

Após esta análise, conclui-se que os sistemas de informação e monitorização de energia são essenciais para garantir a longevidade da poupança energética. Os sistemas de eficiência energética têm também de ter uma estrutura adequada de modo a conseguirem atingir uma poupança significativa a longo prazo.

3.4 Novo Regime de Produção Distribuída

O conselho de ministros aprovou dois regimes aplicáveis à produção local de eletricidade [19]:

- Regime de Autoconsumo;
- Regime de Pequena Produção.

Nesta secção vão ser explicados em que consistem estes dois novos regimes.

3.4.1 Autoconsumo

O regime de Autoconsumo, representado na Figura 3.2, envolve a utilização de uma unidade local encarregue da produção de energia elétrica destinada ao consumo próprio, de modo a substituir o fornecimento de energia por parte da RESP.

A energia produzida é injetada preferencialmente na instalação para satisfazer as necessidades de consumo, mas eventuais excedentes são injetados na RESP de modo a evitar desperdício [19].

A unidade de produção é instalada no local da instalação de consumo. A potência tem de ser inferior à potência contratada e a potência da UPAC não pode ser duas vezes superior à potência de ligação [19].

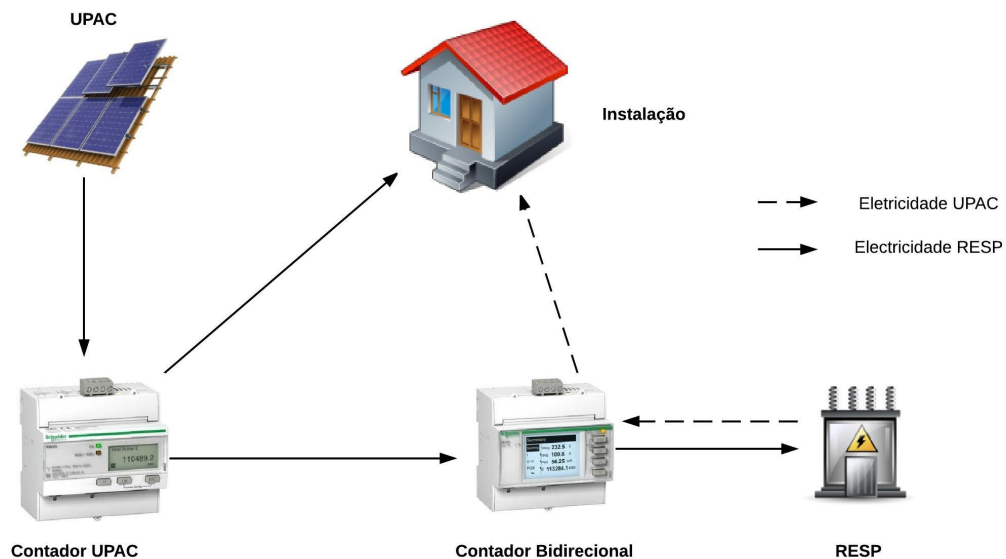


Figura 3.2: Esquema representativo de uma habitação em regime de Autoconsumo. Baseado em [26].

Segue-se na Tabela 3.2 a exposição das principais características do regime de Autoconsumo.

Tabela 3.2: Regras do regime de Autoconsumo. Baseado em [26]

	Autoconsumo
Fonte	Renovável/ Não Renovável
Limite de Potência	Potência de ligação menor que potência contratada na instalação de consumo
Requisitos de Produção	A produção anual deve ser inferior às necessidades de consumo; Venda do excedente instantâneo ao CUR;
Renumeração	Valor da “pool” para excedente instantâneo de produção, deduzido de custos; Numa base anual, o excedente produzido em relação às necessidades de consumo não é renumerado;
Compensação	Entre 30% a 50% do respetivo valor dos CIEG quando a potência acumulada das unidades de autoconsumo exceda 1% da potencia instalada no SEN
Contagem	Obrigatória para potências superiores a 1,5 kW
Processo Licenciamento	Processo é gerido via plataforma eletrónica; Simple comunicação prévia entre 200W e 1,5 kW; Registo e certificado de exploração entre 1,5 kW e 1 MW; Licença de produção + exploração se maior que 1 MW
Quotas	Não existe quota de atribuição

3.4.2 Pequena Produção

O regime de Pequena Produção, representado na Figura 3.3, consiste na produção de eletricidade, por intermédio de uma fonte de energia renovável, para venda à RESP [19].

A unidade de pequena produção, instalada no local de consumo, injeta a totalidade da energia elétrica produzida na RESP, enquanto que a instalação associada recebe toda a eletricidade proveniente da RESP [26].

A potência de ligação da UPP tem sempre de ser inferior à potência contratada e nunca maior que 250 kW, e numa base anual a energia produzida não pode ser duas vezes superior à energia consumida pela instalação [26].

Este regime permite ao produtor vender a energia elétrica à RESP, com uma tarifa atribuída com base num modelo de leilão, sendo idêntico ao antigo regime de Miniprodução [26].

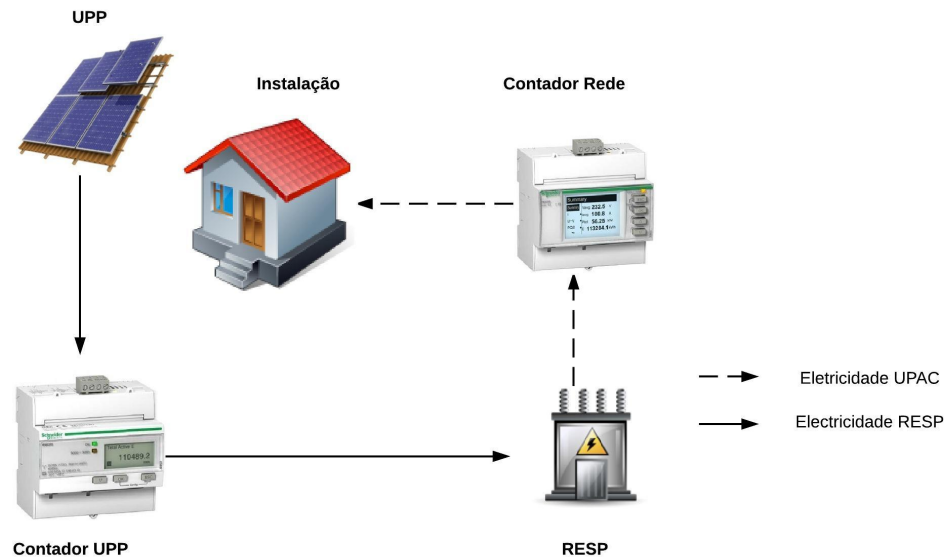


Figura 3.3: Esquema representativo de uma habitação em regime de Pequena Produção. Baseado em [26].

Na Tabela 3.3 apresenta-se um resumo das principais características do regime de Pequena Produção.

Tabela 3.3: Regras do regime de Pequena Produção. Baseada em [26]

Fonte	Autoconsumo
	Renovável
Limite de Potência	Potência de ligação menor que potência contratada na instalação de consumo; Potência de ligação máxima até 250 kW;
Requisitos de Produção	A produção anual menor que duas vezes o consumo da instalação; Venda da totalidade da energia ao CUR;
Renumeração	Tarifa obtida através de leilão para a totalidade da produção; Numa base anual, o excedente produzido face ao requisito de duas vezes o consumo da instalação não é renumerado;
Compensação	Não Existe
Contagem	Obrigatório para todas as potências
Processo Licenciamento	Processo é gerido via plataforma eletrónica; Registo e certificado de exploração; Inspeções são obrigatórias;
Quotas	Não existe quota de atribuição

3.5 Zero Energy Buildings

Os *Zero Energy Buildings* são reconhecidos como edifícios dotados de técnicas eficientes e sustentáveis da gestão de energia. Estas técnicas permitem ao edifício colmatar os gastos energéticos, conseguindo adquirir um balanço nulo entre consumo e produção de energia. Na Figura 3.4 apresenta-se o alcance do estatuto ZEB.

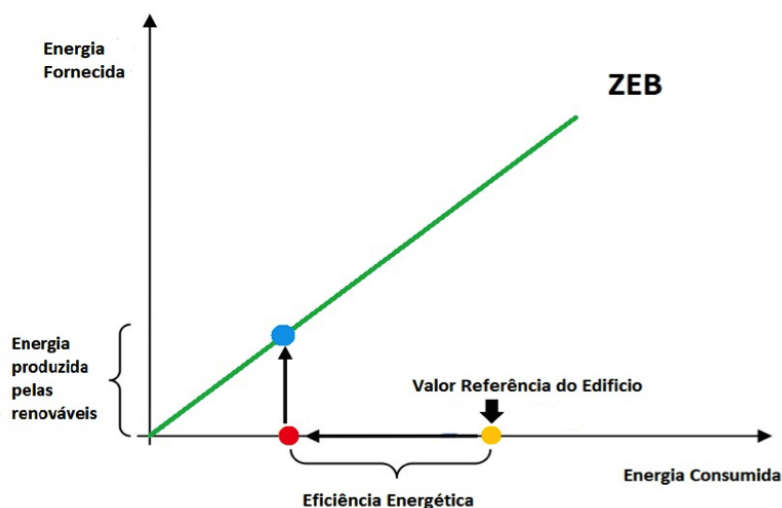


Figura 3.4: Gráfico representativo do alcance do estatuto ZEB.

Para além da abordagem acima referida, podem-se considerar outras perspetivas para alcançar o estatuto de ZEB. O termo “Zero” pode referir-se tanto a energia, como a emissões de CO₂ ou custos energéticos [9]. Na Tabela 3.4 apresentam-se quatro possíveis abordagens:

Tabela 3.4: Possíveis abordagens ao estatuto ZEB. Baseada em [9].

Abordagens	Definição
<i>Net-Zero Site Energy</i>	Produção de energia, através de fontes renováveis, é suficiente para compensar as necessidades anuais do edifício. A contagem de energia é realizada no local.
<i>Net-Zero Source Energy</i>	Produção de energia em quantidades suficientes para compensar as necessidades anuais. A contagem é efetuada na fonte. O termo “Source Energy” pretende referir que a energia primária é adquirida para produção de energia útil no local.
<i>Net-Zero Energy Emissions</i>	Produção de energia “limpa” em quantidades suficientes de modo a compensar a energia adquirida proveniente de fontes convencionais, associadas à produção de CO ₂ . Calculado numa base anual.
<i>Net-Zero Energy Costs</i>	Onde existe uma produção e venda de energia em quantidade suficiente para compensar os custos associados à compra de energia necessária para a utilização do edifício. Calculada numa base anual.

Cada uma das abordagens aos ZEB tem aspetos positivos e negativos. Na Tabela 3.5 são apresentadas as vantagens e desvantagens de cada abordagem.

Tabela 3.5: Vantagens e desvantagens das abordagens.

Abordagens	Vantagens	Desvantagens
<i>Net-Zero Site Energy</i>	Fácil de implementar; Verificável através de medições no local; Abordagem conservativa para alcançar o estatuto de ZEB; De acordo com o Regime de Autoconsumo.	Necessita de mais exportação de energia dos painéis fotovoltaicos para compensar o gás natural; Não consegue igualar a capacidade de geração dos diferentes tipos de combustíveis; Não tem em conta o desgaste e disponibilidade de fornecimento em relação a outros tipos de fontes de energia.
<i>Net-Zero Source Energy</i>	Capacidade de igualar o valor energético dos tipos de fontes usadas no local; Estatuto de ZEB mais fácil de atingir; Melhor modelo para causar impacto no sistema energético nacional.	Não tem em conta o desgaste e disponibilidade de fornecimento em relação a outros tipos de fontes de energia; Cálculo das fontes é muito amplo, e não tem em conta as variações regionais ou diárias na geração de eletricidade; Não considera todos os custos energéticos.
<i>Net-Zero Energy Emissions</i>	O ZEB mais fácil de atingir; Melhor modelo de acordo com o protocolo de Quioto.	—
<i>Net-Zero Energy Costs</i>	O mais simples de implementar e medir; Permite o controlo entre a procura e resposta; De acordo com o regime de Pequena Produção.	Requer acordos de medição de forma a que a eletricidade exportada possa compensar os gastos energéticos; Tarifas energéticas elevadas que dificultam o acompanhamento a longo prazo.

Para além das abordagens exploradas na Tabela 3.4, pode-se ainda identificar o conceito de *Near-Zero Energy Buildings*. Apesar de se poder considerar um conceito distinto de ZEB, refere-se a edifícios que não têm a capacidade de ter um balanço energético de forma independente. Produzem pelo menos 75% de energia necessária através de energias renováveis e os restantes 25% são provenientes da rede de distribuição elétrica [13].

3.6 Tecnologia Fotovoltaica

As células fotovoltaicas são dispositivos eletrónicos que têm a capacidade de converter a luz solar em eletricidade. São utilizadas como geradoras de eletricidade, ou também

como sensores de intensidade luminosa[6].

O efeito fotovoltaico foi descoberto em 1839 por Edmond Becquerel, mas as primeiras células fotovoltaicas só foram construídas após 1883, por intermédio de Charles Fritts[6].

A célula fotovoltaica é composta por um material semicondutor, tipicamente silício, que gera eletricidade quando exposto à luz solar. São adicionadas substâncias dopantes ao semicondutor para possibilitar uma melhor conversão de potência elétrica. Tipicamente, as células fotovoltaicas produzem potência na ordem dos 1,5 W [32].

Os painéis fotovoltaicos consistem num grupo de células fotovoltaicas, que são ligadas em série ou paralelo, de modo a produzirem maiores potências, como se pode constatar na Figura 3.5. Um grupo de células fotovoltaicas é denominado de módulo fotovoltaico. O módulo é constituído por uma rede de células solares. Um conjunto de módulos fotovoltaicos é chamado de painel fotovoltaico. Os módulos podem ser ligados em série ou paralelo, de modo a se obter a tensão necessária. Deste modo, torna-se possível adaptar o painel de acordo com a aplicação [22].

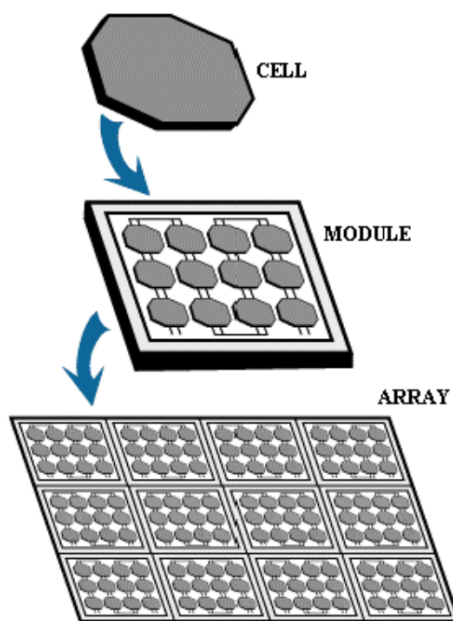


Figura 3.5: Da célula fotovoltaica ao painel. Retirado de [22].

A corrente elétrica produzida por um painel fotovoltaico é contínua, e para que possa ser utilizada numa habitação é necessário utilizar um inversor de corrente (DC/AC). Os PV podem ou não ser ligados diretamente à rede. No caso dos que não são ligados à rede, é necessário armazenar a eletricidade produzida, e para isso pode-se usar dois dispositivos associados: baterias, que guardam a energia produzida, e controladores de carga, que monitorizam e protegem a bateria de sobrecargas ou descargas totais. No caso dos sistemas ligados à rede, é necessário fazer a ligação através de um Posto de Transformação [32].

De acordo com a sua composição, os painéis fotovoltaicos podem ser divididos da seguinte forma [6]:

- **Painel composto por células mono-cristalinas**

Este tipo de células representam a 1ª geração. O seu rendimento elétrico é de aproximadamente 16%, contudo as técnicas utilizadas para a sua produção são complexas, caras e exigem uma grande quantidade de energia para o seu fabrico.

- **Painel composto por células poli-cristalinas**

As células poli-cristalinas têm um custo inferior em relação às mono-cristalinas, consequente de um custo de produção inferior. Porém, exibem um rendimento elétrico inferior, entre 11% e 13%. Esta redução é causada pela imperfeição do cristal.

- **Painel composto por células de silício amorfo**

As células compostas por silício amorfo são as que apresentam um custo de fabrico mais reduzido, mas em contrapartida também é a que apresenta um rendimento mais reduzido, entre 8% e 10%. As células de silício amorfo são películas muito finas.

A orientação dos painéis solares tem um papel essencial na quantidade de energia elétrica produzida. Inclinar o painel com um ângulo igual ao da latitude a que se encontram aumenta a radiação solar incidente ao longo do dia, e do ano. Alguns sistemas atuais possuem dispositivos de localização, de modo a posicionarem o painel para obter a produção máxima [32].

A tecnologia fotovoltaica oferece um variado número de vantagens, como por exemplo:

- A luz solar é uma fonte renovável que está disponível em todo o mundo;
- A tecnologia fotovoltaica é modular, pequena e pode ser utilizada em todo o lado, ao contrário de outras tecnologias de produção de eletricidade;
- Ao contrário das centrais elétricas que utilizam carvão, petróleo, gás ou energia nuclear, a energia proveniente do sol não tem os custos associados a combustíveis fósseis.
- O uso de energia solar permite reduzir o consumo dos combustíveis fósseis, que são uma das causas do aquecimento global [36]
- Tem custos relativamente baixos de operação e manutenção em comparação às centrais elétricas.
- Embora a fonte de energia seja variável ao longo do dia, o pico de utilização de sistemas de arrefecimento residencial coincide com o pico de calor e de sol.

Apesar de todas as vantagens, os painéis fotovoltaicos também apresentam contrapartidas:

- A potência produzida pelo painel solar é afetada pela temperatura. Como resultado, a potência de saída é reduzida entre 0.25%(células amorfas) e 0.5%(células cristalinas) por cada grau celsius incrementado [31];
- Produzem menos energia quando sobrepostos por uma nuvem ou com tempo nublado;
- O tempo médio de vida de um painel fotovoltaico é de aproximadamente 25 anos.

Hoje em dia, a produção é uma das tecnologias de energia renovável em maior expansão e espera-se que essa tendência continue no futuro. Os painéis fotovoltaicos são também a tecnologia, mais “democrática”, de fonte de energia renovável, e o seu tamanho modular faz com que estejam ao alcance do mercado residencial.

3.7 Quadro Elétrico Inteligente

A poupança energética é um processo contínuo, no qual os responsáveis das instalações devem poder aceder a dados referentes à utilização da energia a qualquer momento e em qualquer lugar.

O quadro elétrico inteligente satisfaz os requisitos, centralizando as medições energéticas e transmitindo-as em tempo real para um sistema de gestão de energia, que supervisiona o sistema e maximiza o rendimento energético.

O Quadro Elétrico Inteligente possibilita visualizar dados e realizar poupanças energéticas cumprindo 3 passos:

- **Medir** - medição do consumo elétrico da instalação através dos aparelhos de medida;
- **Comunicar** – a conexão de todos os dispositivos permite o controlo remoto dos interruptores e aparelhos de proteção da instalação;
- **Gerir** – receção de informação, em tempo real, do consumo elétrico e do estado dos dispositivos de proteção.

A poupança de energia começa por “Medir”. Ao combinar componentes de controlo, medida e comunicação, o quadro elétrico transforma-se em uma fonte de dados, que podem ser mostrados localmente ou enviados para outros dispositivos através de redes de comunicação. Os dados são manipulados e, conforme a informação, é realizado um controlo inteligente dos dispositivos do quadro elétrico.

“Comunicar” oferece um acesso seguro e simples aos dados. A comunicação da medição do consumo elétrico tem como objetivo a redução do gasto energético na instalação. Percebendo o onde e o porquê da presença do consumo, é possível intervir em conformidade, conseguindo assim uma redução da fatura da eletricidade. Esta redução de consumos provoca uma redução nas emissões de CO₂, permitindo alcançar uma instalação mais amiga do ambiente.

“Gerir” a instalação em qualquer momento e lugar. A gestão pode ser realizada através de uma consola com ecrã tátil ou através de um PC. Com o ecrã tátil ligado à rede, o quadro comunica informação elétrica indispensável, os respetivos alarmes e também permite o controlo de vários equipamentos. Por outro lado, o PC permite, através de um *browser* da Internet, aceder a páginas *web* de monitorização, configurar envio de alarmes por emails, controlar dispositivos, gravar dados de consumo em Excel, visualizar gráficos em tempo real, entre outros. Tanto o ecrã tátil como o PC podem ser personalizados de acordo com os objetivos de gestão delineados para cada instalação, conseguindo-se desta maneira alcançar mais funcionalidades para além das já expostas.

O cumprimento dos 3 passos para realizar a poupança energética refletem as seguintes vantagens:

- Mais conforto, conseguido através do comando à distância de cargas;
- Mais segurança, alcançada pela capacidade de leitura do estado de desgaste dos componentes elétricos e de ocorrência de defeitos elétricos;
- Melhor eficiência energética, conseguida através da capacidade de monitorizar o consumo da instalação em tempo real e de agir em conformidade, conseguindo assim uma redução nos custos energéticos;
- Instalação mais ecológica, como consequência direta da redução dos consumos.

Em suma, o conceito do quadro inteligente de distribuição elétrica é simples: utilizar dispositivos de proteção e medida, e comunicar através de um sistema de supervisão obtendo interação com os dispositivos da instalação de uma forma simples e intuitiva.

3.8 Energias Renováveis e QEBT Inteligente

As energias renováveis são uma nova realidade na produção de energia elétrica. Uma das particularidades destas fontes de energia, em relação às energias fósseis, são o custo e a disponibilidade: o vento e o sol não estão sempre disponíveis quando é necessário [16]. Ao contrário das fontes de energia elétrica convencionais, estas não podem ser manipuladas e por vezes até são desperdiçadas.

Uma otimização possível das fontes de energias renováveis em uso residencial será a integração das mesmas com um quadro elétrico inteligente. Ao se associar o controlo, a

medição e a comunicação, pode-se adaptar o uso das cargas de acordo com a produção elétrica da fonte renovável. Com esta associação, é possível tornar a fonte renovável como a principal fonte de energia elétrica do circuito, ao abrigo do regime de Autoconsumo, refletindo as seguintes vantagens:

- Redução do impacto ambiental consequente da menor utilização, ou até mesmo nula, da fonte de energia fóssil;
- Prevenção de um possível desperdício de energia produzida pela fonte renovável;
- Fornece melhor informação e opção de escolha, ao utilizador, da fonte de energia que deseja usar[16];
- Permite ao utilizador ter um papel na otimização do sistema.

Todas estas vantagens têm como consequência natural o aumento da eficiência energética.

ARQUITETURA PROPOSTA E TECNOLOGIAS UTILIZADAS

Este capítulo expõe a arquitetura utilizada e as tecnologias envolvidas à implementação do QEBT Inteligente. Vai ser exposto o esquema elétrico do quadro, a arquitetura de comunicação, o protocolo utilizado e as configurações necessárias.

ARQUITETURA PROPOSTA E TECNOLOGIAS UTILIZADAS

4.1 Arquitetura Proposta

Gerir energia elétrica de um modo inteligente é um processo contínuo e complexo, e deve ter como base uma arquitetura bem estruturada.

O QEBT Inteligente apresenta-se como um sistema inteligente de gestão de energia elétrica numa habitação, . Esta solução, não só permite aumentar a eficiência energética, como também reflete um acréscimo no conforto do utilizador. Na Figura 4.1 é apresentada a arquitetura proposta para o quadro elétrico inteligente.

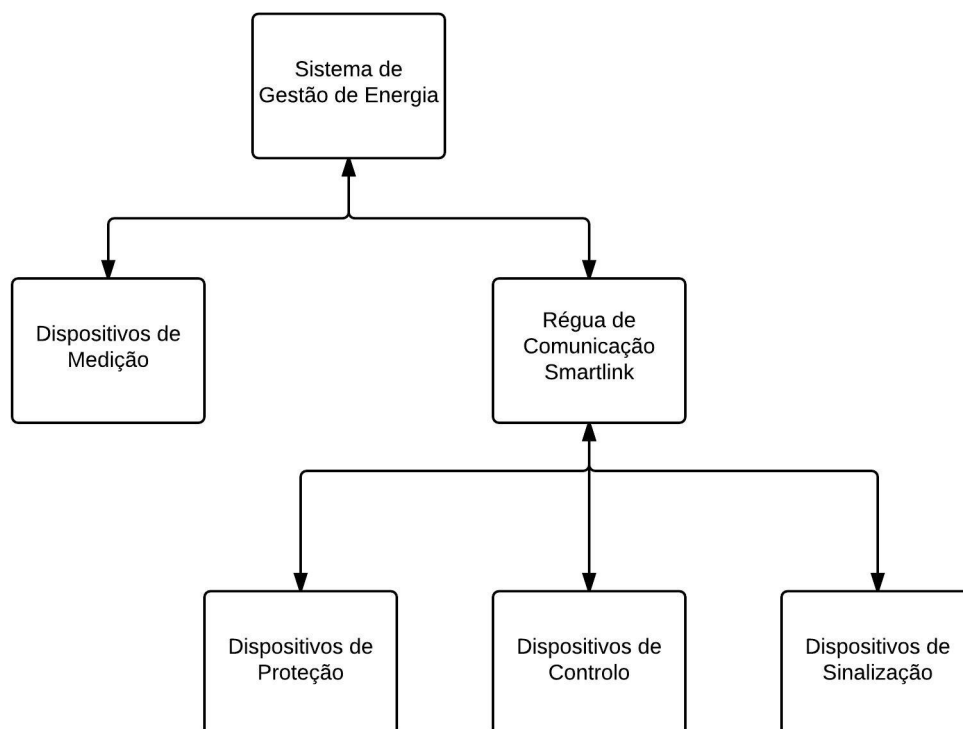


Figura 4.1: Arquitetura do quadro elétrico.

Além de representar uma solução de gestão inteligente de energia, a arquitetura proposta foi projetada tendo em conta a utilização de uma fonte local de energia renovável.

Esta associação reflete-se num aumento da eficiência energética e na produção de uma energia "mais verde", indo de encontro aos objetivos propostos no protocolo de Quioto.

O quadro elétrico projetado propõe uma solução robusta e adaptável a qualquer sistema e utilizador. Tanto o sistema de gestão de energia como os dispositivos, podem ser adaptados e até trocados, de maneira a irem de encontro com os objetivos do utilizador.

O SGE é pensado de modo a ser acessível e personalizado através de um computador. Apresenta toda a informação dos constituintes do quadro, como também deixa atuar sobre os mesmos à distância de um "clique".

As vantagens na implementação desta solução numa habitação são imediatas:

- **Conforto do utilizador**, refletido por um sistema de gestão de energia que pode ser acedido à distância pelo computador;
- **Segurança Melhorada**, obtida através de informação constante do estados dos dispositivos;
- **Utilização Otimizada de Eletricidade**, conseguida através de informação detalhada de toda a instalação, disponível no SGE;
- **Eficiência Energética**, como consequência das vantagens referidas em cima, das funcionalidades de todos os dispositivos e da capacidade de utilização de fontes de energia renováveis;
- **Aplicável em Portugal**, arquitetura pensada de acordo com os novos regimes de produção de energia elétrica renovável.

Tudo isto fará com que o cliente opte pelo investimento nesta solução, em vez de um quadro elétrico convencional.

Apresentadas as vantagens do sistema, e a ideia conceptual relativamente ao seu funcionamento, segue-se na Figura 4.2, o esquema elétrico da arquitetura proposta, e na Figura 4.3 o Quadro Elétrico Inteligente desenvolvido de acordo com a arquitetura.

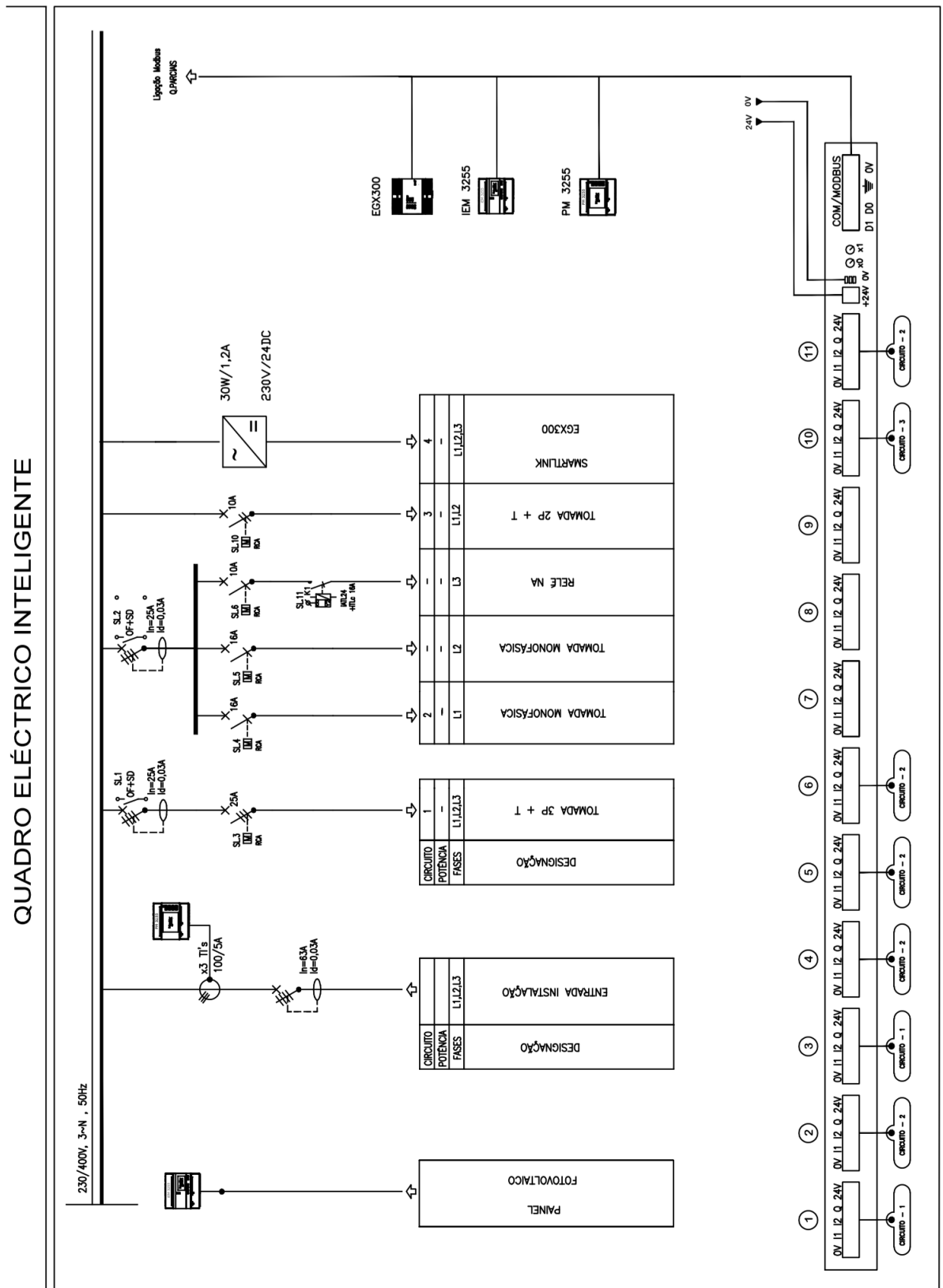


Figura 4.2: Esquema elétrico em CAD do quadro elétrico projetado.



Figura 4.3: Quadro Elétrico Inteligente desenvolvido.

Tendo sido expostos o esquema elétrico do quadro e o seu esquema conceptual nas Figuras 4.1 e 4.2, respetivamente, nas secções seguintes serão exibidos os dispositivos que integram a solução proposta.

4.1.1 Dispositivos de Comunicação

Durante o desenvolvimento do quadro elétrico é necessário escolher o equipamento adequado para as funcionalidades pretendidas.

Os aparelhos seleccionados dedicados à comunicação no QEBT Inteligente foram a *gateway* EGX300 e a régua de comunicação Smartlink. A EGX300 corresponde ao Sistema de Gestão de Energia.

O EGX300, representado na Figura 4.4, é um servidor-*gateway* integrado que necessita de um navegador de Internet e uma rede Ethernet para receber e mostrar dados de vários dispositivos. Os dispositivos podem variar, desde contadores de energia, relés, PLC's até qualquer outro dispositivo que comunique através de ModBus, Jbus ou protocolo PowerLogic [38]. Suporta até 64 dispositivos ligados diretamente.

A principal razão para a escolha do EGX300 é o facto de ter a função de página *web* incorporada e uma memória de 512 Mb. Estas duas características permitem a criação de páginas *web* personalizadas que podem ser utilizadas para a visualização de dados do sistema em tempo real, armazenamento de documentação útil, tais como, manuais de instruções ou diagramas de equipamentos [38], e para comando de dispositivos. Além

disto, o EGX300 ainda tem funcionalidades que permite enviar alertas e tabelas de dados via email.

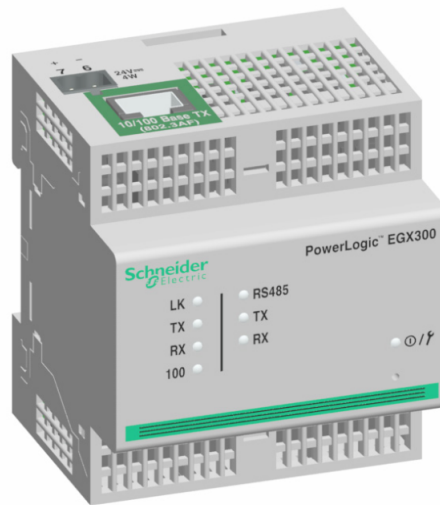


Figura 4.4: O gateway EGX300.

O Smartlink, apresentado Figura 4.5, é o dispositivo de comunicação com a função de conectar o quadro elétrico de distribuição a um sistema de Supervisão [35]. Baseado no protocolo ModBus RTU, possibilita a troca de informação, em tempo real, entre o QEBT e o sistema de gestão de energia, nomeadamente o EGX300.

Este dispositivo apresenta-se como uma solução modular que combina funções de controlo, medição e proteção de modo a criar a melhor solução de eficiência energética em qualquer instalação [35]. Para além disso, uma das suas grandes vantagens prende-se na facilidade de configuração e cablagem dos dispositivos que se ligam à régua Smartlink. A ligação dos dispositivos ao Smartlink é feita através de uma interface Ti24.



Figura 4.5: Régua de Comunicação Smartlink.

4.1.2 Dispositivos de Medição

De acordo com a solução proposta, os dispositivos de medição elétrica vão ter duas funcionalidades distintas: medir a energia produzida pela fonte local de energia renovável e medir a energia consumida pela habitação. Como tal, foi selecionada a central de medida PM3255 para realizar a contagem de energia consumida pela habitação, e o contador de energia iEM3255 para calcular a energia produzida pela fonte local de produção de energia.

A central de medida PM3255, apresentada na Figura 4.6, é um dispositivo que consegue medir as mais variadas grandezas elétricas da instalação, e por sua vez transmitir os dados lidos para o EGX300 através do protocolo ModBus RTU. A medição e transmissão dos dados energéticos são realizados em tempo real.

Tendo em conta os objetivos do sistema proposto, as grandezas elétricas mais importantes de analisar são a tensão e a corrente nas três fases do circuito. Segundo as informações do fabricante, o dispositivo, com base nos valores medidos, realiza cálculos para expor outras medidas relevantes, tais como as potências e valores de energia consumida.



Figura 4.6: Central de medida PM3255.

O contador de energia iEM3255, representado na Figura 4.7, tal como a PM3255, tem a capacidade de medir grandezas elétricas e por sua vez transmitir os dados de leitura para o EGX300 através do protocolo ModBus RTU. A contagem e transmissão dos dados energéticos também são efetuados em tempo real. De acordo com a solução apresentada, este contador de energia foi o selecionado para medir a energia produzida pelo o sistema local de produção de energia renovável.



Figura 4.7: Contador de energia iEM3255.

4.1.3 Dispositivos de Proteção, Controle e Sinalização

Olhando para um nível mais “baixo” da arquitetura, encontram-se os dispositivos de proteção, comando e sinalização do quadro elétrico. Os aparelhos de proteção são disjuntores e interruptores diferenciais, os mecanismos de comando são telecomandos para comandar disjuntores e telerruptores para comando de cargas, e por fim os dispositivos de sinalização são utilizados para informar disparos tempestivos devidos a defeitos elétricos.

Os dispositivos elegidos foram os seguintes:

- **Disjuntores iC60N**

Os disjuntores iC60N, exemplificado um de um polo na Figura 4.8, são disjuntores modulares de calha DIN da gama Acti 9 da *Schneider Electric*

De acordo com os objetivos do quadro elétrico foram escolhidos três disjuntores de 1 polo, outro de 3 polos, e por fim um de 4 polos. Os calibres dos disjuntores selecionados variam entre os 10A e os 16A e todos têm uma curva de disparo do tipo C.



Figura 4.8: Disjuntor iC60N de 1 polo.

- **Interruptores Diferenciais IID**

Os interruptores diferenciais IID, exemplificado na Figura 4.9, são interruptores modulares de calha DIN, e tal como os disjuntores pertencem à gama Acti9 da *Schneider Electric*.

Foram selecionados três interruptores diferenciais. O primeiro, que é utilizado para proteger toda a instalação, é de 4 polos, e tem um calibre de 63 A e sensibilidade de 30 mA. Os outros dois têm um calibre de 25 A, sensibilidade de 30 mA e também são de 4 polos.

Faz todo o sentido usar interruptores diferenciais e disjuntores de 4 polos visto que a alimentação de entrada do quadro elétrico é trifásica com neutro.



Figura 4.9: Interruptor diferencial iD.

- **Sinalizadores iOF + SD 24**

O sinalizador iOF + SD 24, representado na Figura 4.10, é um auxiliar de sinalização utilizado para indicar o estado de um disjuntor ou de um interruptor diferencial. Foram escolhidos dois iOF + SD 24, com interface Ti24, para sinalizarem o estado dos interruptores diferenciais e darem informação ao EGX300 no caso de disparo tempestivo do interruptor diferencial.



Figura 4.10: Sinalizador iOF + SD 24.

- **Telecomando RCA**

O telecomando RCA, apresentado na Figura 4.11, é um controle remoto específico para disjuntores da gama iC60. Dentro das funcionalidades do telecomando RCA destacam-se o controle remoto dos disjuntores iC60 (abertura e fecho), autorização ou proibição de rearme do disjuntor após defeito elétrico, e controle local através de manipulador. Tem ainda possibilidade de utilizar um cadeado, de modo a tornar o acesso ao circuito limitado.

Visto que este projeto foi pensado de acordo com a integração com o Smartlink, os telecomandos RCA selecionados têm a interface Ti24, e com isso alcançam as seguintes funcionalidades: controle remoto através de um sistema de supervisão, o EGX300, e sinalização remota de abertura e fecho do disjuntor agregado.



Figura 4.11: Telecomando RCA.

- **iATL24 + iTLc**

O iATL24 e o iTLc são produtos separados mas são utilizados em conjunto, como se pode ver na Figura 4.12.

O iATL24, é um controlo centralizado para o relé iTLc. Possui uma ligação Ti24, e tal como os telecomandos RCA pode ser controlado à distância através do sistema de gestão agregado ao EGX300.

O relé iTLc é utilizado para o comando de uma carga ou de um circuito. A utilização mais habitual é o controlo de circuitos de iluminação. É de referir que o relé não garante proteção e como tal é recomendado que seja eletrificado em conjunto com um disjuntor.

A escolha deste interruptor visa a possibilidade de demonstrar a versatilidade agregada à arquitetura do quadro elétrico proposto.



Figura 4.12: Controlo iATL24 associado ao relé iTLc.

4.1.4 Outros Dispositivos

Para além dos dispositivos expostos ao longo desta secção, o quadro elétrico projetado tem mais dois tipos de dispositivos.

O primeiro a referir é a fonte de alimentação ABL8MEM24012, apresentada na Figura 4.13, que é utilizada para transformar uma tensão de 230V AC em uma tensão de 24V DC, utilizada para alimentar o EGX300 e o Smartlinkk. Apesar de não ter nenhuma consequência direta nas funcionalidades do quadro, é um aparelho essencial para o funcionamento dos dispositivos de comunicação.

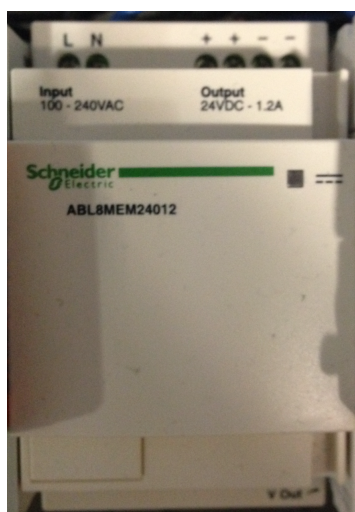


Figura 4.13: Fonte de alimentação da gama ABL8.

Outros dispositivos que constituem o quadro são as tomadas elétricas, representadas na Figura 4.14. Optou-se por um quadro elétrico com a inclusão de tomadas elétricas de modo a permitir a ligação de cargas diretamente no quadro, e assim facilitar a realização dos testes necessários para a dissertação em questão.

Foram selecionadas duas tomadas monofásicas de fase + neutro, uma outra de 2 polos + terra, e a quarta de 3 polos + terra. As tomadas elegidas são todas industriais e de encaixe direto no quadro.

Visualizados os dispositivos que constituem o quadro elétrico inteligente bem como a ideia por detrás do seu funcionamento, na secção que se segue vai-se compreender a topologia da rede de comunicação da solução proposta.



Figura 4.14: Exemplo de tomadas encastradas no quadro.

4.2 Arquitetura de Comunicação

Na secção 4.1 apresentou-se uma ideia geral sobre a arquitetura proposta mas não ficou claro como a informação é trocada entre os componentes da arquitetura.

Gerir dados energéticos e atuar de acordo com a leitura dos mesmos é um processo contínuo, e baseando-se nisso a arquitetura de comunicação da solução proposta foi desenhada de acordo com o princípio apresentado na Figura 4.15 .

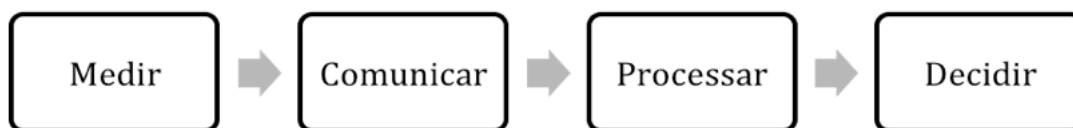


Figura 4.15: Princípio da análise de dados num *SmartPanel*.

O processo de Medir associa-se aos dados que os equipamentos medem, de acordo com as suas funcionalidades. Posteriormente, a informação medida é comunicada, através de um protocolo de comunicação, à interface de supervisão, que por sua vez processa a informação obtida e toma decisões de acordo com as leituras efetuadas.

Compreendida a ideia geral por detrás da arquitetura de comunicação, de seguida vai ser exposta a topologia de rede sugerida, o protocolo de comunicação utilizado, e por fim a configuração dos dispositivos na rede.

4.2.1 Topologia de Rede

A topologia de rede proposta para o quadro elétrico, representada na Figura 4.16, foi baseada no princípio de análise de dados representado na Figura 4.15. De modo a facilitar a compreensão da mesma optou-se por dividir a topologia em dois níveis distintos, o nível de gestão e controlo e o nível de comunicação.

O nível de gestão e controlo é constituído essencialmente por um computador que tenha um *browser* de Internet, onde se pode visualizar dados energéticos da instalação e comandar dispositivos. Expondo de uma forma simplificada, e olhando para a arquitetura proposta este nível da arquitetura é o que constitui o sistema de gestão energética. É também de referir que nesta camada da topologia proposta o protocolo utilizado é o ModBus TCP/IP.

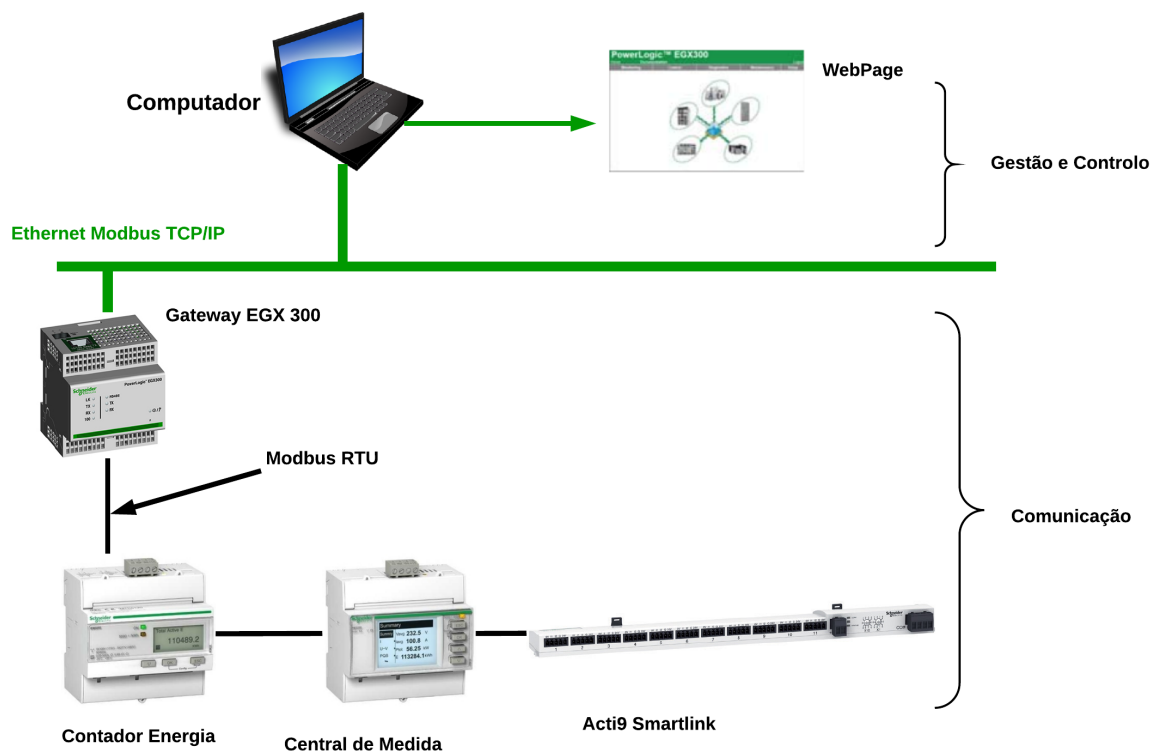


Figura 4.16: Topologia de Rede da Arquitetura Proposta.

Quanto ao nível de comunicação, o mesmo é constituído pelos dispositivos de comunicação e os de medição, Figura 4.17. Baseados no protocolo ModBus RTU, os mesmos comunicam entre si baseados na relação mestre escravos, onde o EGX300 se apresenta como o mestre da comunicação e os outros dispositivos são os escravos, podendo só trocar informação e atuar de acordo com ordens dadas pelo mestre.

O EGX300 além de ser o mestre da comunicação da topologia proposta, também se encarrega de fazer a ponte de ligação entre o computador e o quadro elétrico.

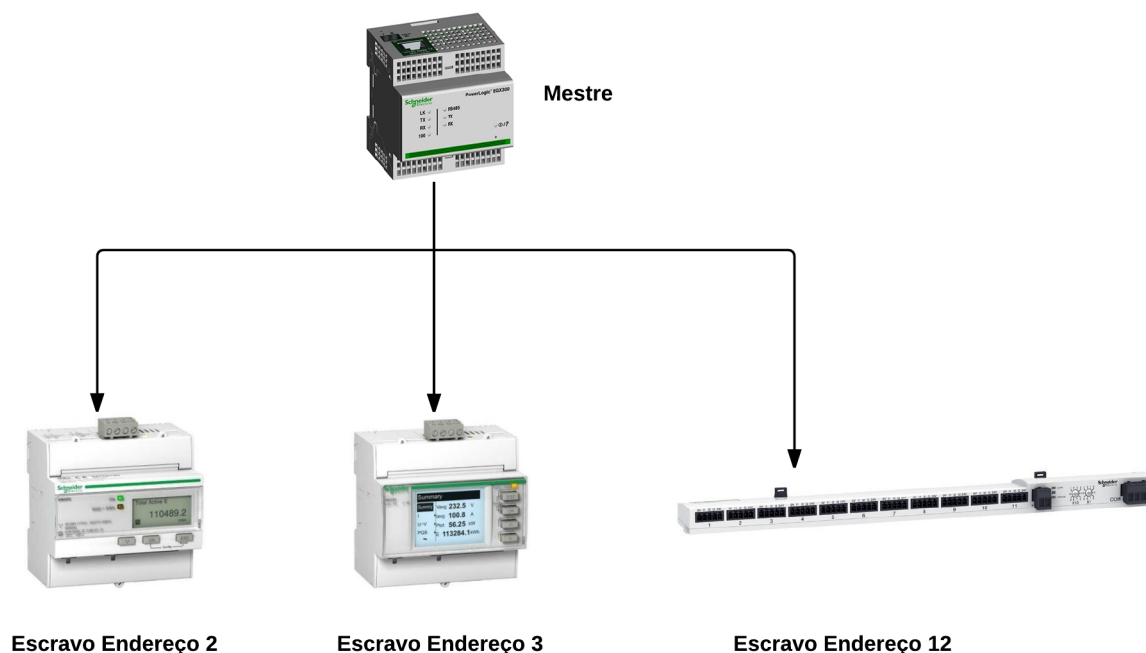


Figura 4.17: Rede de dispositivos que comunicam por ModBus.

4.2.2 O protocolo ModBus

Como já foi referido, a arquitetura de comunicação utiliza o protocolo de comunicação ModBus nas variantes RTU e TCP/IP. Nesta secção vai-se falar sobre o protocolo ModBus, com maior ênfase para o modo RTU e TCP/IP.

O protocolo ModBus foi desenvolvido em 1979 pela Modicon para os sistemas de automação industriais com os seus controladores, e desde aí que se tornou um *standard* na indústria para trocar informação entre dispositivos [8]. Além da utilização a nível industrial, também é um protocolo muito utilizado em sistemas de monitorização de edifícios [28].

Os dispositivos baseados em ModBus comunicam utilizando uma topologia baseada na relação mestre – escravo, como se pode verificar na Figura 4.18, onde só o mestre pode iniciar a sequência de comunicação. Esta sequência é iniciada pelo envio de uma *query*, que pode ser uma ordem ou pedido, que vai ser recebida por todos os escravos. O mestre pode enviar uma mensagem para cada escravo individualmente, ou pode fazer *broadcast* da mensagem para todos os escravos. Após a receção, os escravos respondem com confirmação que a mensagem foi recebida, percebida e procederam à ordem de acordo com a mesma. A resposta do escravo também pode ser negativa a informar que a ordem requerida não foi possível de se concretizar [27].

Se o pedido do mestre é um pedido de dados, o escravo envia os dados requeridos juntos com a mensagem de resposta [27]. As mensagens enviadas por *broadcast* a todos os

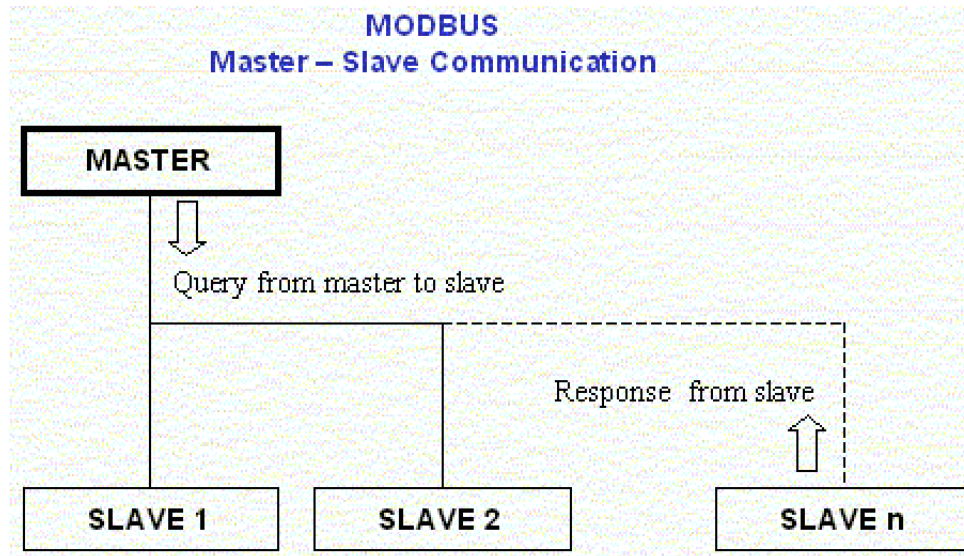


Figura 4.18: Topologia de Comunicação entre o Mestre e os Escravos numa rede baseada no protocolo ModBus.

escravos não requerem resposta por parte deles [27]. Os escravos só transmitem na rede por ordem do mestre.

O protocolo pode ser implementado através de três meios físicos diferentes:

- RS-232;
- RS-485;
- Ethernet.

O padrão de comunicação RS-232 é utilizado somente para comunicações ponto a ponto, visto que só admite dois dispositivos na rede, que no caso específico do ModBus representa a existência de um mestre e um escravo. Neste padrão, a velocidade máxima anda por volta dos 115Kbps e a distância máxima ronda os 30 metros [18].

O RS-485 é o padrão mais utilizado pelo protocolo ModBus e o utilizado neste projecto. Este padrão suporta taxas de comunicação que podem alcançar os 12Mbps, e em alguns casos até aos 50Mbps. A distância máxima anda por volta dos 1200 metros e o número máximo de dispositivos, por barramento de rede, é 32 [18]. É o padrão utilizado no nível de comunicação da arquitetura sugerida.

Utilizando a Ethernet, as velocidades máximas podem chegar até aos 100 Mbps, ou até mesmo 10 Gbps, e a distância máxima varia entre 100 e 200 metros, dependendo do cabo utilizado e as condições da instalação [18]. É o meio utilizado para ligar o EGX300 ao computador.

Quanto aos modos de transmissão, uma rede baseada em protocolo ModBus utiliza o ASCII ou RTU. Os dois diferem na maneira como a informação é compactada nos campos da mensagem, como é codificada e a velocidade de transmissão [27].

No modo ASCII, todas as mensagens são codificadas em formato Hexadecimal. A principal vantagem deste modo é permitir intervalos de um segundo, entre caracteres, sem erros.

Em modo RTU, é usado código binário para a transmissão o que torna a mensagem impossível de ler, mas reduz o tamanho da mesma. A vantagem deste modo, é que devido à sua densidade de caracteres a taxa de transmissão de dados, para a mesma *baud rate*, é maior que no modo ASCII.

Os dois modos não podem ser usados em conjunto, e o modo escolhido tem de ser o utilizado por todos os dispositivos da rede [27].

4.2.2.1 ModBus RTU

No Modo de transmissão RTU uma mensagem é constituída por quatro campos distintos: indicação do endereço do destinatário, código da função, dados transmitidos, e um campo para verificação de erros, como se pode observar na Tabela 4.1

Tabela 4.1: Descrição dos campos de uma mensagem ModBus RTU.

Campo	Tamanho	Descrição
Endereço Destinatário	8 bits	Indicação do endereço do dispositivo ao qual a mensagem se destina.
Código de Função	8 bits	Código que define o tipo de mensagem.
Dados	N x 8bits	Dados transmitidos para o dispositivo destinatário.
Verificação erros	16 bits	Valor numérico para verificação de erros.

No RTU, a indicação do início e do fim de uma nova mensagem é feita através da ausência de dados na rede. O cálculo de um tempo mínimo, para ausência de dados, é realizado através da multiplicação do valor 3,5 pelo tempo de transmissão de um byte de dados. Se durante a transmissão de uma mensagem o tempo entre os bytes for maior que o tempo mínimo, essa mensagem é considerada inválida.

O ModBus RTU aceita como meios de transmissão o RS-232 e o RS-485. A arquitetura implementada utiliza o RS-485, como já foi referido.

4.2.2.2 ModBus TCP/IP

O ModBus TCP/IP é uma variante do protocolo ModBus que utiliza a Ethernet como meio físico.

A construção de uma mensagem no protocolo ModBus é diferente em cada meio físico, tendo só em comum o PDU (*Protocol Data Unit*), que é constituído pelo código de função e os dados. O cliente quando inicia a comunicação constrói o PDU, e depois

adiciona os campos necessários, conforme o meio que for utilizar, para a transmissão de dados.

No ModBus TCP/IP é adicionado, ao PDU, um cabeçalho chamado MBAP (*ModBus Application Protocol Header*), como se pode visualizar na Figura 4.19 que representa uma mensagem de dados em ModBus TCP/IP. Este cabeçalho tem 7 bytes de tamanho e é constituído pelos seguintes campos:

- **Transaction Identifier**, campo de identificação usado para se realizar um emparelhamento de mensagens. É importante para quando um cliente não espera por uma resposta e envia múltiplas mensagens através da mesma conexão TCP [8].
- **Protocol Identifier**, utilizado para identificar o tipo de protocolo que se está a utilizar. O valor 0 corresponde ao ModBus [8].
- **Length**, este campo é um contador dos bytes restantes, incluindo o *Unit ID byte*, o *Function Code byte* e os bytes do campo de dados [8].
- **Unit identifier**, é usado para identificar um escravo remoto localizado numa rede não TCP/IP, RTU por exemplo.

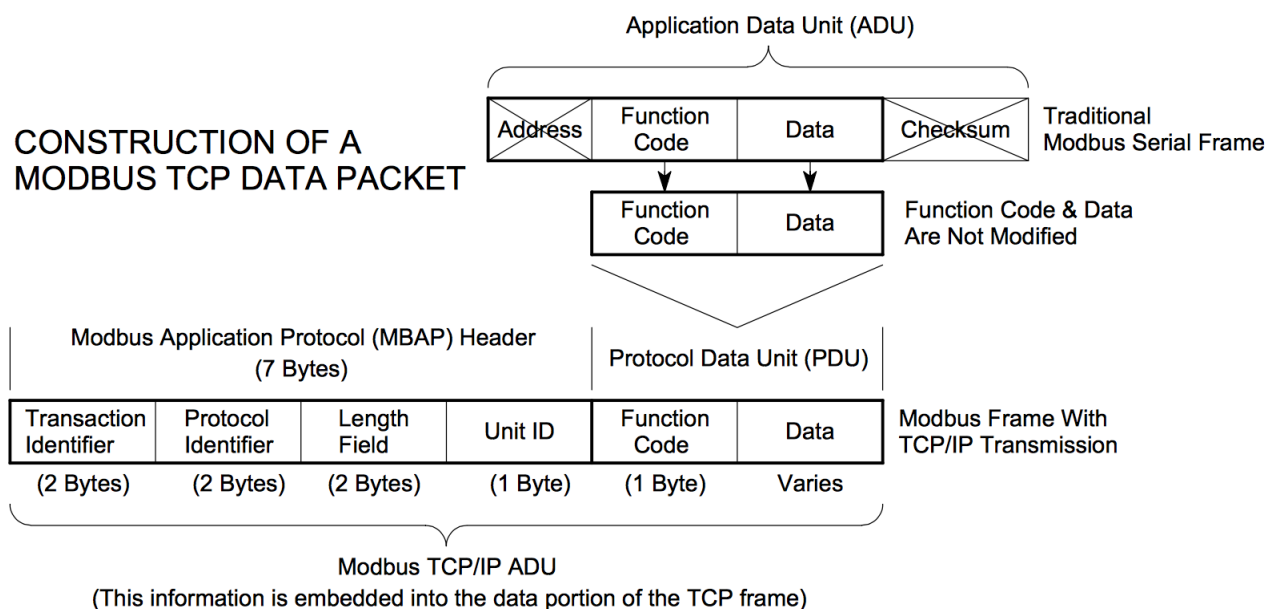


Figura 4.19: Imagem representativa de uma mensagem de dados em ModBus TCP/IP.

Uma mensagem de dados em ModBus TCP/IP não utiliza um campo para verificação de erros. Esta fica a cargo dos protocolos TCP/IP e Ethernet, visto que uma mensagem Ethernet já utiliza o CRC-32 para deteção de erros[4].

O início de uma comunicação em ModBus TCP/IP requer o estabelecimento de uma ligação TCP entre o servidor e o cliente. A porta TCP 502 é a porta reservada, nos servidores, para as comunicações ModBus TCP/IP. Um cliente pode estabelecer outras comunicações sem a primeira estar terminada, visto que os protocolos Ethernet e TCP/IP realizam um controlo do fluxo de mensagens.

Neste protocolo ModBus qualquer equipamento pode ser cliente e servidor simultaneamente e ainda é possível ter mais que um mestre. O número de escravos e mestres numa rede Ethernet depende das características dos equipamentos.

Uma das principais vantagens deste protocolo ModBus em relação aos outros, é que se a rede Ethernet possuir uma ligação à Internet é possível comandar os dispositivos de qualquer ponto do planeta, desde que se disponha de ligação à Internet.

4.2.3 Configuração dos dispositivos na rede

Após a arquitetura de comunicação e o esquema elétrico do quadro estarem definidos, torna-se necessário configurar os dispositivos de maneira a conseguirem comunicar e funcionarem de acordo com o projetado.

Em primeiro lugar, procedeu-se à configuração do mestre da comunicação, o *gateway* EGX300. Para tal começou-se pela eletrificação do mesmo, tanto a nível de alimentação como a nível de comunicação, optando-se por uma ligação a 2 fios na porta de comunicação Modbus para utilizar o modo RS-485 e pela utilização de um cabo RJ45 para se ligar ao computador através da porta Ethernet do EGX300.

Concluída a eletrificação, torna-se necessário configurar o mestre de acordo com a rede projetada. Para se configurar a rede Ethernet foi necessário definir um IP que fosse válido nessa mesma rede, ou seja, um IP que estivesse na mesma rede que o computador a utilizar, figura 4.20

Posteriormente procedeu-se à configuração dos parâmetros da rede ModBus, como se pode constatar na Figura 4.21, nomeadamente o meio físico, modo de transmissão, *baud rate*, paridade e *response timeout*¹.

¹Tempo máximo que o mestre aguarda para receber resposta de um escravo.

Ethernet & TCP/IP

Ethernet	
MAC Address - 00:80:67:86:53:8A	
Frame Format:	Ethernet II
Media Type:	10T/100Tx Auto

IP Parameters	
<input type="checkbox"/> Obtain an IP Address Automatically	
IP Address:	12 . 120 . 45 . 2
Subnet Mask:	255 . 255 . 0 . 0
Default Gateway:	12 . 120 . 45 . 1

Figura 4.20: Configuração Ethernet TCP/IP do EGX300.

Serial Port

Physical Interface:	RS485 2-wire
Transmission Mode:	Automatic
Baud Rate:	19200
Parity:	Even
Response Timeout:	3 (Seconds)

Figura 4.21: Configuração da porta série ModBus do EGX300.

De seguida optou-se por configurar a central de medida PM3255. Dependendo da instalação elétrica, se é monofásica ou trifásica, o esquema de ligações dos dispositivos de medida alteram-se. Sendo estes dispositivos de medição indireta, e de modo a evitar correntes muito altas que não são suportadas pelos dispositivos, é necessária a utilização de transformadores de corrente entres os dispositivos de medida e os dispositivos elétricos que se pretende efetuar leituras energéticas, figura 4.22.

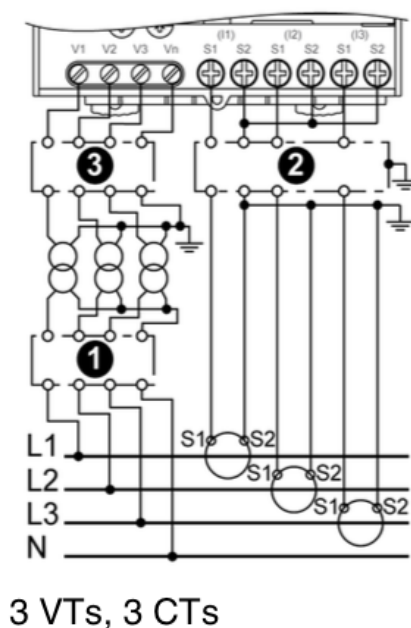


Figura 4.22: Configuração da porta série ModBus do EGX300.

Após feitas as ligações elétricas e de comunicação, é necessário proceder-se à sua configuração. As ligações elétricas na central de medida foram configuradas como sendo uma ligação a quatro fios (3 fases e Neutro) e a relação dos transformadores de corrente também é configurada de acordo com os mesmos, 100/5 A. Relativamente à ligação na rede ModBus, é necessário configurar o número de endereço do escravo, a *baud rate* e a paridade:

- Endereço: 3;
- BaudRate: 19200;
- Paridade: *Even*.

É de notar que a baud rate e a paridade é configurada de igual modo no escravo e no mestre. Se assim não fosse o EGX300 não conseguiria comunicar com a central de medida.

A configuração do contador de energia iEM3255, escolhido para medir a energia produzida pelo painel fotovoltaico, é semelhante à do PM3255, onde a única diferença está no número de escravo e ligações elétricas. A configuração de rede do iEM3255 é a seguinte:

- Endereço: 2;
- BaudRate: 19200;
- Paridade: *Even*.

Estando o mestre da comunicação configurado, e os aparelhos de medida igualmente configurados, só falta configurar o Smartlink. A conexão à rede ModBus é automática desde que o endereço do escravo seja válido[8]. De fábrica, o Smartlink vem com as seguintes configurações[8]:

- BaudRate: 19200;
- Paridade: *Even*.

A configuração do endereço de escravo na rede fica a cargo do utilizador, e a mesma é feita através de uns pequenos seletores na face frontal do dispositivo, visualizar Figura 4.23 . No caso particular do sistema em questão, o endereço de escravo escolhido foi o número 12.

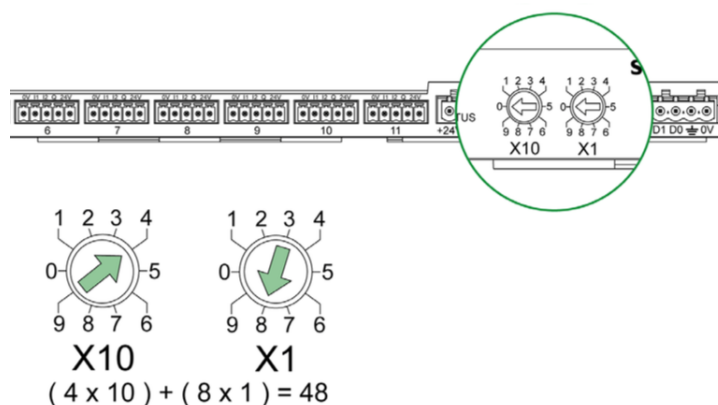


Figura 4.23: Configuração do endereço ModBus no Smartlink

Configurado o endereço de Modbus, torna-se necessário proceder à ligação dos componentes do QEBT. O Smartlink é constituído por 11 canais (24 Vdc) que se conectam facilmente a todos os aparelhos de distribuição elétrica da gama Acti9, da *Schneider Electric*, com uma interface Ti24, representada na Figura 4.24. Como se pode verificar pela Figura 4.25 as ligações são feitas através de cabos pré-fabricados criados para facilitar a instalação e reduzir o número de cabos ligados às ligações Ti24. Graças às mesmas, informações relativas aos dispositivos podem ser transmitidas do Acti9 Smartlink para o EGX300 via ModBus RTU [8].

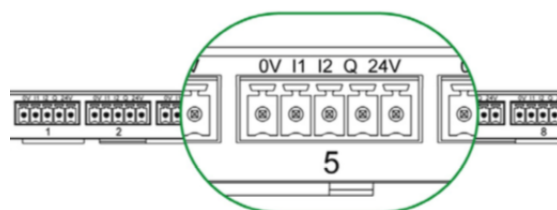


Figura 4.24: Interface Ti24 disponível nos dispositivos e no Smartlink.

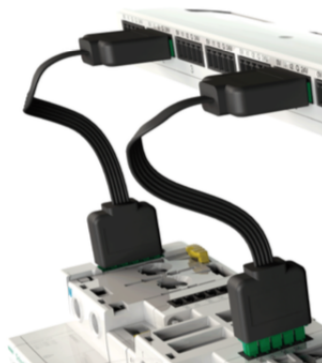


Figura 4.25: Cabo de ligação para as interfaces TI24.

Após se proceder às configurações de comunicação do Smartlink, executou-se a ligação dos componentes elétricos de acordo com o esquema elétrico pensado para o quadro elétrico inteligente, representado na Figura 4.26:

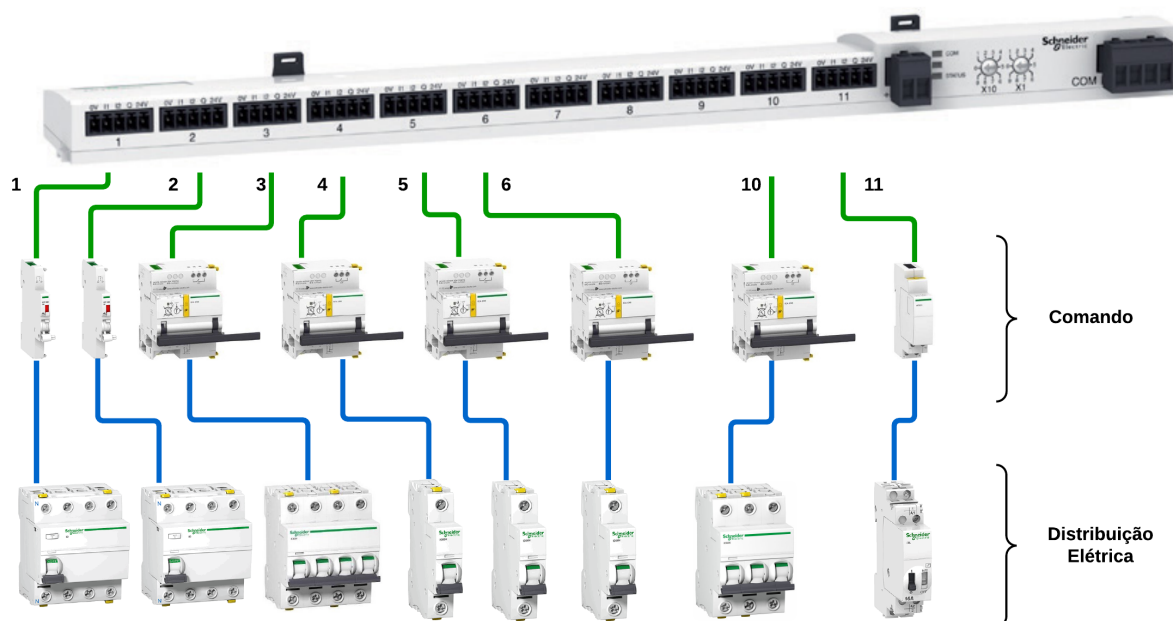











Figura 4.26: Ligações do Smartlink aos aparelhos de distribuição elétrica de acordo com a Arquitetura Proposta.

Por último, estando todos os componentes eletrificados e configurados, é necessário proceder à procura de dispositivos que se encontrem na mesma rede que o EGX300, e a configuração é feita de acordo com a Figura 4.27. A procura é realizada de modo automático, desde que os mesmos se encontrem configurados de acordo com as especificações da rede, ou seja, os parâmetros *baud rate* e paridade são comuns à rede e têm de coincidir

para a procura e comunicação serem realizadas com sucesso.

Device List

Number of Viewable Devices: 8 

Device Type	Device Name	Local ID
iEM3255 	PM Fotovoltaico	2
PM3250/PM3255 	PM 3255	3
Acti 9 Smartlink 	Smartlink	12
Modbus 		
Modbus 		
Modbus 		
Modbus 		
Modbus 		

Discover

Apply

Figura 4.27: Procura de dispositivos na rede ModBus a partir do EGX300.

METODOLOGIA PARA AUMENTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM QEBT INTELIGENTE

No capítulo anterior foi analisada a arquitetura proposta para o quadro elétrico inteligente, descritos os seus componentes e funcionalidades na rede.

Neste capítulo será apresentada a metodologia proposta para o aumento da eficiência energética numa habitação recorrendo ao uso da arquitetura proposta em conjunto com um sistema de produção de energia renovável. Toda a metodologia teve em conta o regime de Autoconsumo aplicado em Portugal e o conceito de ZEB.

Vão ser expostos os métodos e as tecnologias utilizadas para alcançar o objetivo proposto, como também vão ser apresentados uns testes para comprovar a sua robustez e funcionalidades.

METODOLOGIA PARA AUMENTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM QEBT INTELIGENTE

5.1 Metodologia Proposta

A metodologia proposta, apresentada na Figura 5.1, tem como objetivo o aumento de eficiência energética através da arquitetura proposta e com a utilização de um sistema de produção de energia através de um painel fotovoltaico. Propõe-se uma metodologia onde o utilizador, através de um computador, consegue aceder a um sistema intuitivo de monitorização e controlo da instalação elétrica.

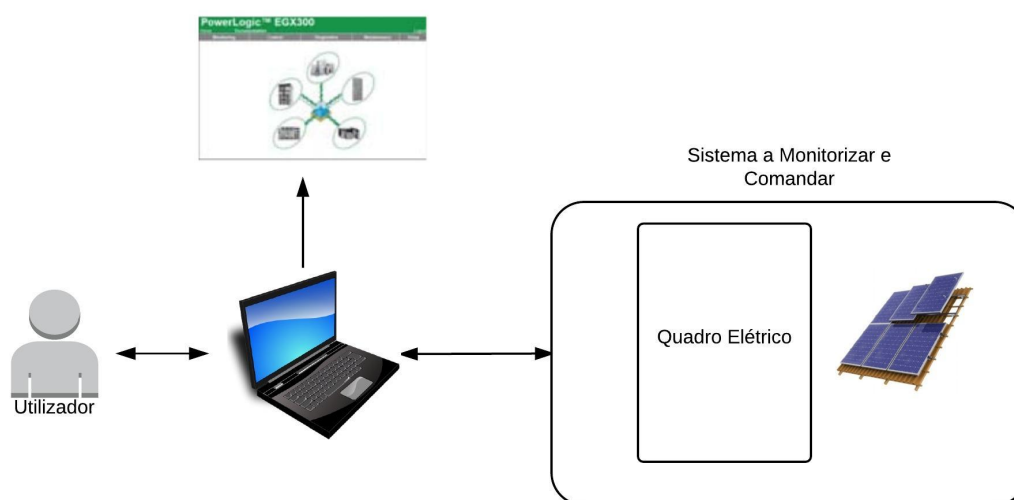


Figura 5.1: Metodologia Proposta.

Para ir de encontro com os objetivos da metodologia são utilizadas as capacidades do EGX300 de modo a concretizar uma gestão inteligente de um sistema baseado na arquitetura proposta no capítulo 4.

Como já foi referido no capítulo anterior, o EGX300 é um servidor com páginas *web* incorporadas e as suas funcionalidades são as seguintes:

- Monitorização à distância e em tempo real, representada na Figura 5.2, o que possibilita ao utilizador usufruir de informação ininterrupta, em qualquer lugar e em

tempo real, sobre o estado e utilização de energia do sistema de distribuição elétrica;

Basic Readings

Parameter	Minimum	Present	Maximum
Load Current(A)			
Ia	216	537	845
Ib	212	554	842
Ic	214	549	873
Power			
Real(kW)	0	401	624
Reactive (KVAR)	-103	215	329
Apparent (kVA)	0	455	694
Power Factor Total	0.28	0.88	0.01
Voltage, L-L Avg.	0	481	500
Voltage, L-N Avg.	0	278	289
Frequency (Hz)	0	60	65.15

	Predicted	Present	Peak	Date/Time at Peak	Date/Time Last Reset
Demand Current (A)					
Ia	540	519	820	13:06:06 5/8/2008	09:28:33 7/9/2008
Ib	545	527	816	13:38:12 5/8/2008	09:28:33 7/9/2008
Ic	537	521	846	13:38:07 5/8/2008	09:28:33 7/9/2008
Demand Power					
Real(kW)	391	391	602	13:39:22 5/8/2008	17:48:09 1/5/2007
Reactive (KVAR)	205	205	315	14:37:27 8/2/2008	17:48:09 1/5/2007
Apparent (kVA)	442	442	672	14:00:36 5/8/2008	17:48:09 1/5/2007

Figura 5.2: Página de monitorização de consumos correspondente a um contador de energia ou a uma central de medida.

- Criação de relatórios de consumo de energia, proporcionando ao utilizador a possibilidade de identificar padrões de consumo de energia de modo a possibilitar uma futura poupança. Apresenta-se um exemplo de um relatório na Figura 5.3;

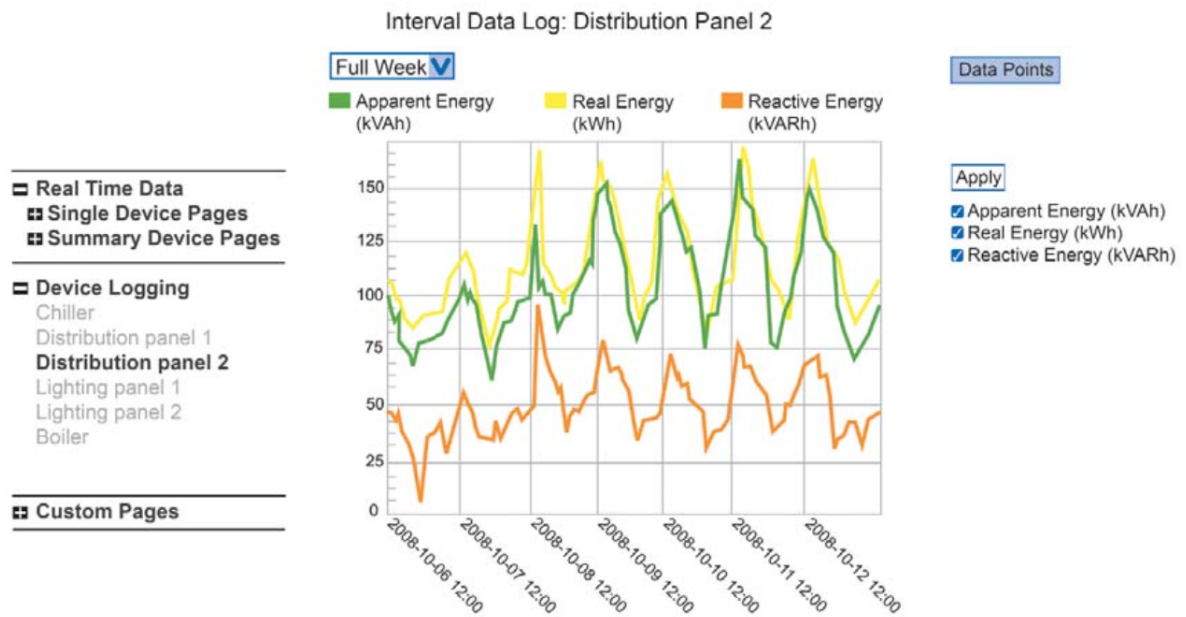


Figura 5.3: Exemplo representativo de relatório de consumos.

- Exportação de dados analisados, através de email ou FTP para um computador que pertença à rede no EGX300, como se pode verificar na Figura 5.4 ;

Data Export

Transport	
<input type="radio"/> Disabled	<input type="radio"/> E-Mail
<input checked="" type="radio"/> FTP	
Incremental: <input checked="" type="checkbox"/>	
Schedule	
<input type="radio"/> Daily	<input type="radio"/> Weekly
<input checked="" type="radio"/> Monthly	
Time of Day: 10:00	
Day of the Week: Sunday	
Day of the Month: 1	
FTP Parameters	
Server IP Address: 0 . 0 . 0 . 0	
Server TCP Port: 21	
Directory:	
Username: user	
Password:	
Passive: <input type="checkbox"/>	
Test E-Mail	Test FTP
Apply	

Figura 5.4: Janela de configuração da exportação de dados.

- Possibilidade de mudar o nome dos dispositivos, o que facilita a análise do estado de equipamentos ou circuitos quando existe um número elevado dos mesmos.

Além das funcionalidades expostas, a metodologia proposta sugere utilizar as capacidades do EGX300 de modo a criar páginas web personalizadas, recorrendo às linguagens de programação HTML e *Javascript*. As páginas *web* individualizadas usufruem da

enorme vantagem de se adaptarem aos objetivos específicos de cada utilizador.

As possibilidades por detrás da conceção de páginas web únicas são incontáveis, contudo podem-se destacar as seguintes:

- Tabelas discriminadas, com medidas elétricas relevantes para o utilizador;
- Possibilidade de armazenamento de documentos importantes;
- Monitorização de anomalias em circuitos críticos;
- Botões personalizados destinados ao comando de cargas e/ou circuitos;
- Sugestões e alarmes para aumentar a eficiência energética, como por exemplo avisar que um circuito de luzes está ligado durante o dia;
- Sugestões e alertas via Email;
- Páginas web criadas para dispositivos que não sejam da empresa *Schneider*;
- Páginas dedicadas à monitorização de produção de energias renováveis;
- Páginas programadas de modo a agirem sem atuação humana de acordo com vários fatores da instalação;
- Alerta ao utilizador em caso de deteção de defeito elétrico num circuito, e possível rearme dos dispositivos afetados.

Aproveitando as enormes possibilidades de uma metodologia baseada na arquitetura proposta no capítulo 4, optou-se por criar duas páginas web com funcionalidades distintas.

A primeira, denominada por Modo Manual, sugere uma metodologia, representada na Figura 5.5, onde o controlo e eficiência das cargas fica dependente do utilizador. A ideia geral é dispor uma página web, apresentada na Figura 5.6, com botões de ligar e desligar, e com informação sobre o estado elétrico dos mesmos.

O modo Manual foi desenvolvido com o intuito existir uma página onde o utilizador pode realizar, à distância, o comando manual das cargas, desde que ligado à rede do sistema de gestão. A utilização desta metodologia desenvolvida reflete as seguintes vantagens práticas:

- Conforto ao deslastrar cargas através de um computador dispositivo ligado à rede;
- Conseguir alcançar eficiência energética mesmo quando o painel fotovoltaico não está a produzir;
- Modo simples e intuitivo de saber o estado de ligado/desligado das cargas/circuitos associados.

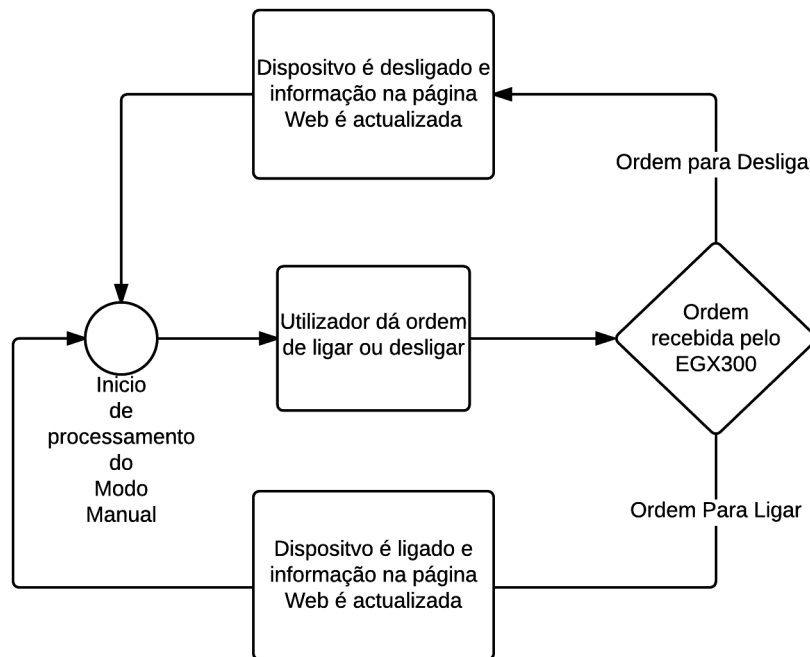


Figura 5.5: Princípio do funcionamento do Modo Manual.

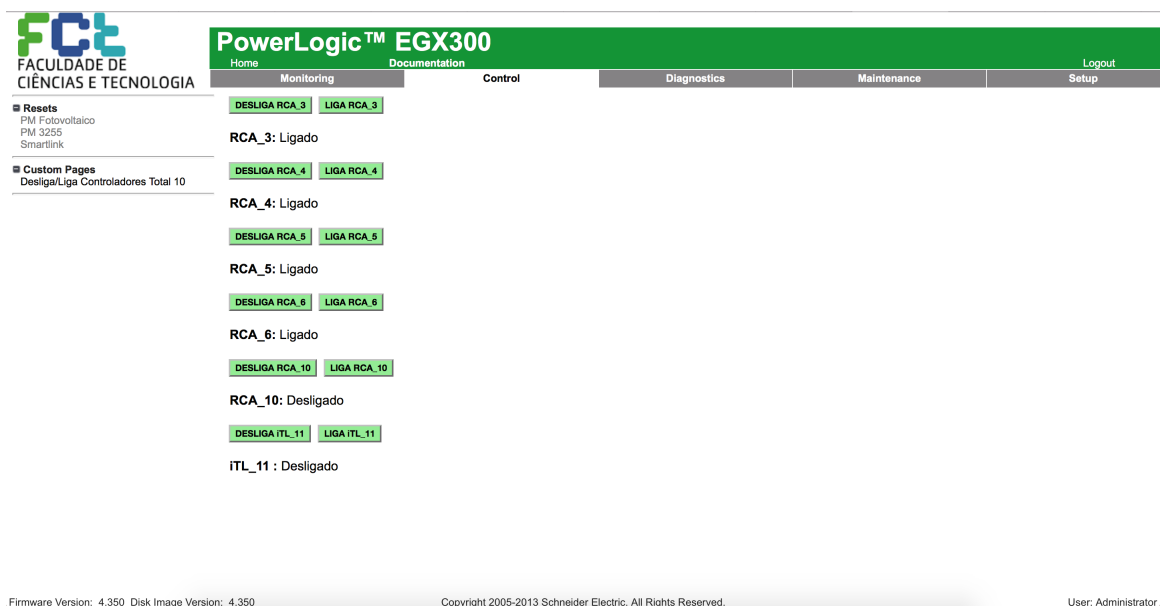


Figura 5.6: Página *web* destinada a comando manual.

Além do Modo Manual, foi desenvolvida outra metodologia de eficiência energética, o Modo Inteligente, apresentada na Figura 5.7.

A elaboração desta metodologia é o grande foco da dissertação e foi desenvolvida de forma a existir um sistema de gestão e controlo de energia totalmente automático, com o objetivo claro de alcançar o menor gasto energético possível em conjunto com uma fonte

local de energia renovável.

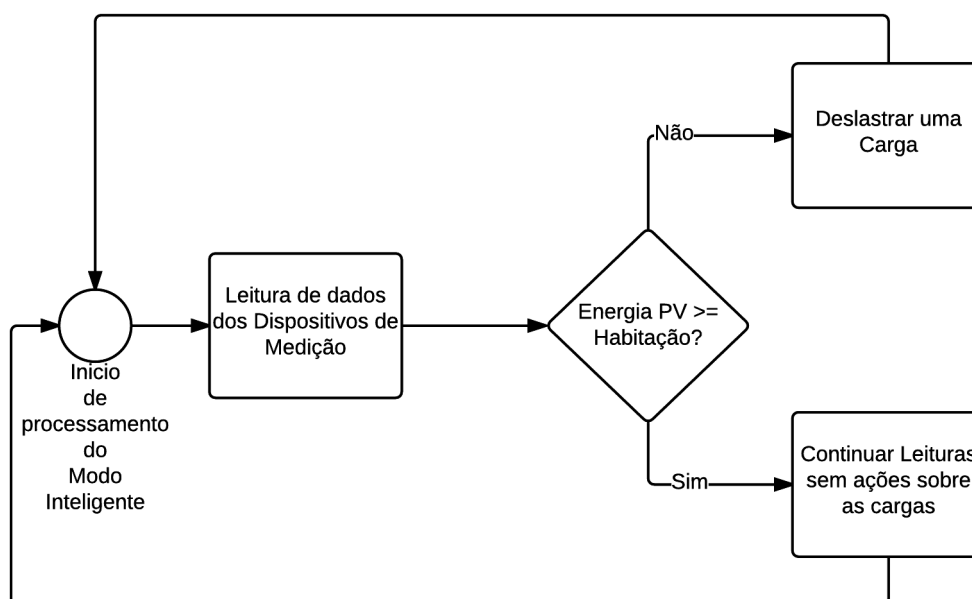


Figura 5.7: Princípio primário do funcionamento do Modo Inteligente.

Este modo de funcionamento faz um deslastre inteligente de cargas de acordo com os valores de produção de energia da fonte local. O sistema encarrega-se de garantir que o consumo da habitação nunca é superior à energia produzida pelo PV, alcançando um balanço energético final menor ou igual a zero durante as horas de produção de energia solar, figura 5.7 .

Além de deslastrar as cargas de modo invisível para o utilizador, a página do Modo Inteligente, apresentada na Figura 5.8, exibe o consumo instantâneo da habitação e a energia que está a ser produzida pelo painel fotovoltaico, bem como a data atual, e também alerta o utilizador de defeitos elétricos que ocorrem nos circuitos.

A implementação do Modo Inteligente no sistema de gestão do quadro elétrico ostenta os seguintes benefícios:

- Eficiência Energética garantida sem ação direta do utilizador, o que contribui para um incremento de conforto para o utilizador;
- Provento máximo da potência produzida pelo PV;
- Integração no Novo Regime de Produção Distribuída, secção 3.4;
- Possível adaptação a tarifas bi-horária e tri-horária;
- Utilização com qualquer tipo de fonte local de produção de energia;
- Ajuste exequível da metodologia, de acordo com exigências do utilizador;

- Garantias de continuidade de serviço;
- Informação relevante e intuitiva através da criação de um *layout* simples para o utilizador comum;

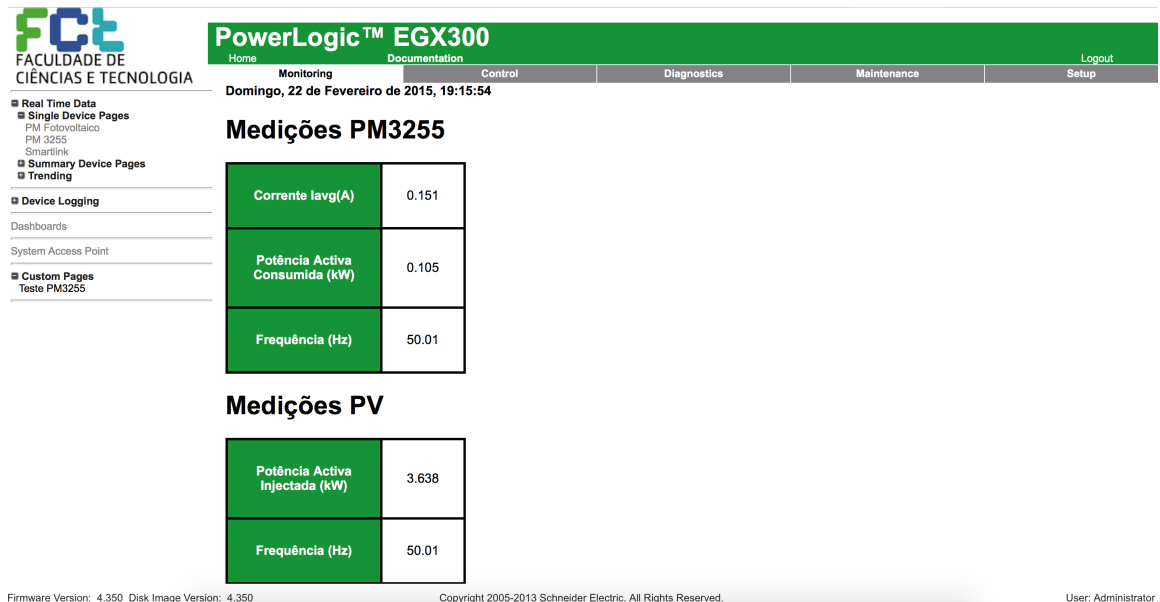


Figura 5.8: Página *web* do modo inteligente.

O Modo Inteligente demonstra toda a robustez e flexibilidade da arquitetura proposta, e apresenta-se como uma ótima solução de eficiência energética em parceria com uma unidade de produção local de energia renovável.

5.2 Implementação da Metodologia

Para se implementar a metodologia proposta tornou-se necessário compreender quais as funcionalidades e tecnologias inerentes ao EGX300.

Esta secção aborda os registos dos dispositivos e funções associadas ao protocolo ModBus. Também são expostos os passos essenciais para a implementação dos Modos Inteligente e Manual, e conjuntamente são exibidos testes práticos aos mesmos.

5.2.1 Endereçamento, Mapa de Registos e Funções do protocolo ModBus

Antes de ser explicado o código e rotinas da metodologia proposta, é necessário compreender como o protocolo Modbus funciona em termos de endereçamento, mapa de registos e funções.

No total, o protocolo ModBus suporta até 256 endereços. O endereço 0, é o endereço de *broadcast*, ou seja, quando o mestre envia uma mensagem com este valor no campo do

endereço, a mensagem é transmitida para todos os escravos na rede. Os endereços entre 1 e 247, são os endereços disponíveis para os escravos. Por último, os endereços de 248 a 255 são endereços reservados[4]. Quando o escravo responde ao mestre, ele coloca o seu endereço na resposta para o mestre saber que é o escravo certo a responder.

O mestre não tem um endereço definido, só os escravos é que possuem um endereço definido.

Além dos endereços, cada dispositivo tem uma memória de variáveis com informação armazenada. O ModBus define o modo e o tipo de dados que podem ser armazenados e transmitidos, mas não possui nenhuma especificação de como o fabricante dos dispositivos deve armazenar informação no mapa de registos.

O protocolo determina que devem existir quatro tipo de dados, distintos, dentro do mapa de registos, apresentado na Tabela 5.1

- *Output Coils;*
- *Input Coils;*
- *Input Registers;*
- *Holding Registers.*

Tabela 5.1: Mapa de registos dos dispositivos utilizados.

Número dos Registos	Ações Disponíveis	Descrição
1 - 9999	Leitura e Escrita	<i>Output Coils</i>
10001 - 19999	Só Leitura	<i>Input Coils</i>
30001 - 39999	Só Leitura	<i>Input Registers</i>
40001 - 49999	Leitura e Escrita	<i>Output Registers</i>

As *Inputs* e *Output Coils* têm valores de 1 bit e endereços específicos. Os *input registers* são armazenados em registos de 16 bits, e utilizando dois destes registos, o ModBus suporta o padrão IEE de 32 bits com vírgula flutuante. Os *Holding Registers*, tal como os *Input Registers*, também são de 16 bits e suportam vírgula flutuante.

O fato de a organização do mapa de registos depender de cada fabricante, rápido se torna uma desvantagem deste protocolo. Se numa rede de ModBus existirem vários dispositivos de diferentes marcas, o instalador tem de ter em atenção que a maneira de ler dados vai ser distinta de dispositivo para dispositivo, o que pode tornar o projeto mais complicado. De modo a dar a volta a este problema, os fabricantes anexam ao dispositivo o mapa de registos.

O código da função é o parâmetro que define o tipo de mensagem enviada ao escravo, e como consequente, define também o tipo de resposta enviada pelo escravo.

As funções disponíveis variam de acordo com o dispositivo, nem todos os fabricantes optam por disponibilizar todas as funções do ModBus nos seus dispositivos.

Na Tabela 5.2 são apresentados os códigos de funções disponíveis nos dispositivos utilizados.

Os identificadores de funções, estão associados às funções disponíveis, e são utilizados para definir o tipo de pedido desejado. Mais a frente nesta secção vai ser mostrada a utilização dos mesmos na criação das páginas personalizadas.

Tabela 5.2: Funções disponíveis nos dispositivos utilizados.

Nome da Função	Código da Função	Identificador
ModBus Block Read - Coil Status	ModBus Código de Função 1	C
ModBus Block Read - Input Status	ModBus Código de Função 2	D
ModBus Block Read - Holding Registers	ModBus Código de Função 3	H
ModBus Block Read - Input Registers	ModBus Código de Função 4	I
ModBus Write - Force Single Coil	ModBus Código de Função 5	X
ModBus Write - Preset Single Register	ModBus Código de Função 6	W
ModBus Write – Force Multiple Coils	ModBus Código de Função 15	Z
ModBus Write – Preset Multiple Registers	ModBus Código de Função 16	Y
ModBus Block Read – General Reference	ModBus Código de Função 20	F
ModBus Write – General Reference	ModBus Código de Função 21	V
ModBus Scattered Read – Holding Registers	ModBus Código de Função 100	S

5.2.2 Desenvolvimento do Modo Manual

O primeiro passo para o desenvolvimento da página *web* destinada ao modo manual foi estudar quais os registos ModBus encarregues das ordens de ligar e desligar os dispositivos da gama Acti9 ligados ao Smartlink. Na Tabela 5.3 é possível visualizar os registos referidos.

Tabela 5.3: Registos do Smartlink para dar ordens de abertura e fecho aos dispositivos.

Registos	Leitura/Escrita	Tipo de dados	Descrição
130	Leitura e Escrita	BITMAP	Ordem de abertura para produtos Acti9
131	Leitura e Escrita	BITMAP	Ordem de fecho para produtos Acti9

Além de dar ordens de abertura e fecho, também é necessário saber quais os registos de ModBus utilizados para ver o estado dos dispositivos, nomeadamente o estado aberto ou fechado. Os registos referidos são apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Registos de leitura de estado no Smartlink.

Canais	Registos Modbus
1	14201
2	14241
3	14281
4	14321
5	14361
6	14401
7	14441
8	14481
9	14521
10	14561
11	14601

Facilmente se verifica que os registos variam de acordo com o canal do Smartlink a que o dispositivo está ligado.

No caso de o dispositivo se encontrar aberto, o que significa que a carga ligada a esse circuito se encontra desligada, o registo correspondente ao canal retorna o valor inteiro 2. Se o dispositivo estiver no estado fechado, o registo retorna o valor inteiro 3.

Após se entender como funcionam os registos nos dispositivos ligados ao Smartlink, torna-se necessário perceber como são realizadas as ordens e leituras no EGX300 através da utilização das linguagens HTML e *Javascript*.

O EGX300 cria um ModBus *request* aos seus escravos baseado no conteúdo de uma *PowerLogic Tag*. Estas *tags* indicam qual o tipo de *request* (e.g *Read Holding Registers*), o endereço do dispositivo e os dados necessários para o *request* ser realizado com sucesso. O EGX300 utiliza um delimitador (PL__) no início da *Tag* e outro (__PL) no fim de modo a que seja capaz de analisar a string contida dentro dos identificadores e transformar numa mensagem de ModBus.

Para o modo manual as *Tags* utilizadas foram as seguintes:

- <DeviceID>^W<RegisterAddress>[<data1>]

Esta *PowerLogic Tag* é a utilizada para a função Modbus Write – Preset Single Register. Como já foi visto na tabela 5.2, o identificador correspondente a esta função é a letra W, e por isso encontra-se presente na *Tag*. Ao utilizar o delimitador que o EGX300 utiliza para reconhecer as strings de Modbus, a *Tag* fica a seguinte:

– PL__<DeviceID>^W<RegisterAddress>[<data1>]__PL

- <DeviceID>^<RegisterAddress1>,<RegisterAddress2>,...

A *PowerLogic Tag* representada em cima é utilizada para a leitura de vários registos ModBus. Esta *Tag* não possui identificador de função, visto que é uma leitura válida para todo o género de registos. Utilizando o delimitador a *Tag* fica da seguinte forma:

– PL__<DeviceID>^<RegisterAddress1>,<RegisterAddress2>,...__PL

Nesta situação o valor retornado pelo destinatário da mensagem é o valor inteiro dos registos solicitados.

Estando entendido como são dadas as ordens de abertura e fecho através de páginas personalizadas do EGX300, torna-se crucial saber a que canais estão associados os dispositivos de controlo e os respetivos registos de escrita e leitura de estado. Visualizar Figura 5.9 e Tabela 5.5 para melhor entendimento da relação entre os registos e os canais utilizados.

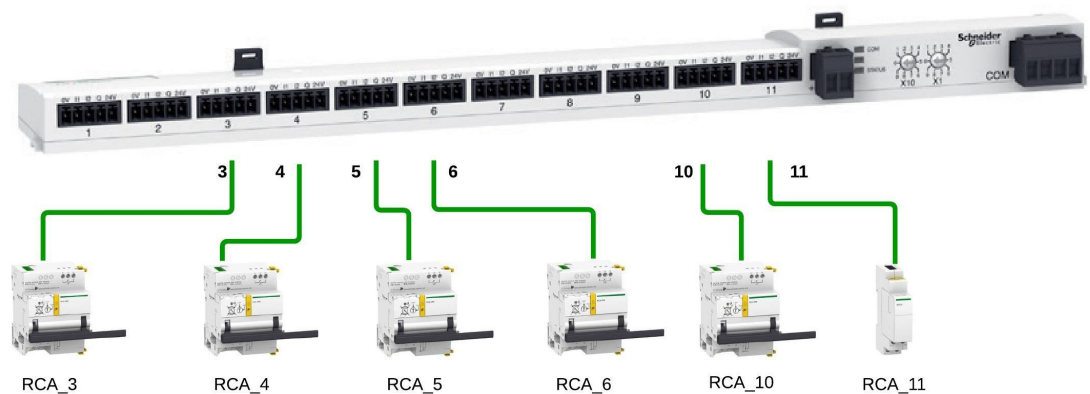


Figura 5.9: Dispositivos de Comando associados ao Smartlink.

Tabela 5.5: Ordens, Registos, Canais e dispositivos.

Dispositivos	Canais do Smartlink	Registos Ordem Abertura	Registos Ordem fecho	Registos Leitura de estado
RCA_3	3	131	132	14281
RCA_4	4	131	132	14321
RCA_5	5	131	132	14361
RCA_6	6	131	132	14401
RCA_10	10	131	132	14561
iTL24	11	131	132	14601

Conheceram-se os registos de leitura e de escrita dos dispositivos associados ao Smartlink, mas ainda não foi explicado que valores se devem escrever nos registos 131 e 132 de modo a diferenciar-se qual vai ser o canal do Smartlink afetado. Como foi referido na tabela 5.3, o tipo de dados dos registos 131 e 132 é BITMAP, ou seja é um número binário, e segundo o manual do Smartlink os endereços 131 e 132 são constituídos por um número de 15 bits onde os primeiros 10 bits correspondem aos canais do Smartlink e os restantes bits, do 11 ao 15 encontram-se reservados.

Outra informação que o manual fornece é que cada bit corresponde a uma ordem, que pode ser ordem de abertura no caso do registo 131 e ordem de fecho no caso do registo 132. Por exemplo, se for escrito o valor “1000000000000000” no registo 131, é dada uma ordem de abertura ao telecomando que estiver associado ao canal 1 do Smartlink. As *PowerLogic Tags* não aceitam a escrita de um número em formato binário, como tal é necessário converter o número para um inteiro.

Tendo sido percebido como o EGX300 troca informação com os escravos, as ordens que podem ser enviadas até aos escravos, e os registos que se devem afetar e ler de acordo com o objetivo de realizar a página web personalizada para o Modo Manual, as *Tags* usadas para cada dispositivo estão expostas na Tabela 5.6 .

Tabela 5.6: *Tags* atribuídas.

Dispositivos	PowerLogic Tag para Ligar	PowerLogic Tag para Desligar
RCA_3	PL__12^W132[4]__PL	PL__12^W131[4]__PL
RCA_4	PL__12^W132[8]__PL	PL__12^W131[8]__PL
RCA_5	PL__12^W132[16]__PL	PL__12^W131[16]__PL
RCA_6	PL__12^W132[32]__PL	PL__12^W131[32]__PL
RCA_10	PL__12^W132[512]__PL	PL__12^W131[512]__PL
iTL24	PL__12^W132[1024]__PL	PL__12^W131[1024]__PL

Em relação à leitura dos estados dos de abertura/fecho dos dispositivos, a mesma foi feita através da utilização de uma única *PowerLogic Tag*:

PL__12^14281,14321,14361,14401,14561,14601__PL

Estando as *tags* definidas, só resta passar tudo para código de modo a gerar a página web no EGX300 para o sistema se comportar de acordo com o projetado. Segue-se em baixo, na Listagem 5.1, um exemplo das funções em *JavaScript* para o RCA_3 com a utilização das *tags* referidas em cima.

Listagem 5.1: Código com ordem de abertura e fecho no RCA_3.

```

1
2 function Desliga() {
3     postString = "PL_" + "_12" + "^W131[4]" + "__PL";
4     doWrite(xmlhttp, postString);
5 }
6 function liga() {
7     postString = "PL_" + "_12" + "^W132[4]" + "__PL";
8     doWrite(xmlhttp, postString);
9 }

```

Para os outros dispositivos o código é idêntico, basta só utilizar as Tags de acordo com a tabela 5.6. Para a leitura do estado de todos os dispositivos comandados com modo manual foi utilizada a função apresentada na Listagem 5.2.

Listagem 5.2: Código para leitura dos registos

```

1
2 function getData() {
3
4     postString = "PL_" + "_12" +
5         "^14280,14281,14320,14321,14360,14361,14400,14401,14560,14561,14600,14601"
6         + "__PL";
7     doRead(xmlhttp1, updateData, postString);
8
9 }

```

Após estar criada a página web, e todos os dispositivos a comunicarem sem problemas, foi feito um ensaio com o objetivo de contemplar o comportamento do quadro elétrico. Para tal foram utilizadas duas cargas, e as mesmas foram deslastradas ao mesmo tempo que se testou variações de energia produzida do PV.

Como se pode notar pela Figura 5.10, no modo manual não é tido em conta a quantidade de energia que o PV está a produzir e o utilizador é livre de deslastrar as cargas da maneira que achar mais correta.

Premiando o conforto e comando de cargas à distância, o Modo Manual é uma ótima solução para se alcançar eficiência energética face à ausência de produção de energia renovável.

Outra possível utilização para o Modo Manual prende-se com a necessidade de manter uma carga ligada, mesmo quando o PV se encontra a produzir a energia necessária para colmatar o consumo dessa mesma carga.

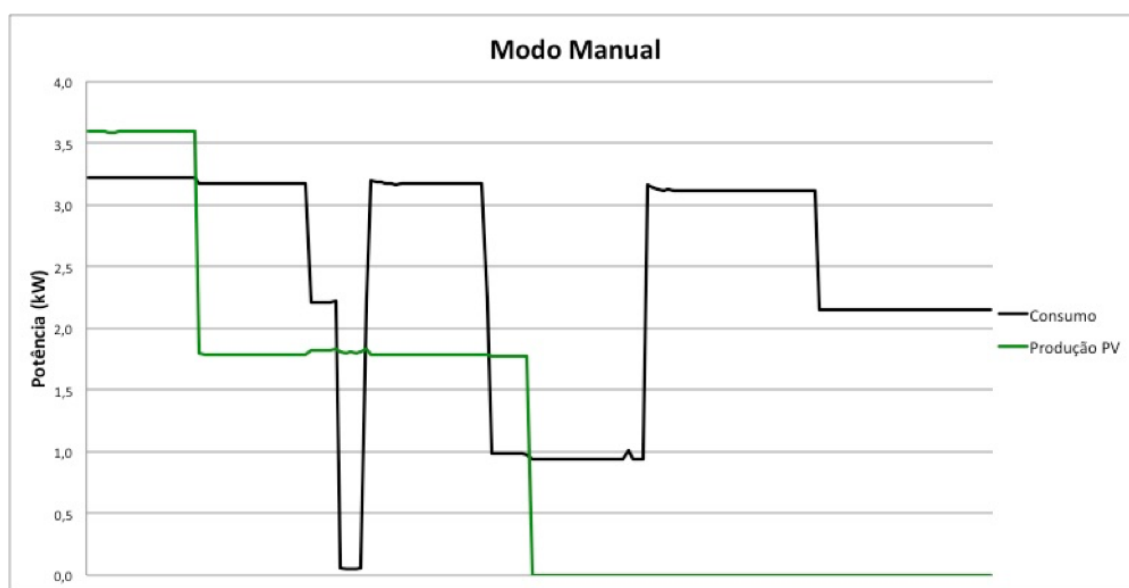


Figura 5.10: Gráfico de potências representativo do teste realizado no Modo Manual.

5.2.3 Desenvolvimento do Modo Inteligente

Tal como no Modo Manual, a primeira etapa de desenvolvimento passa por compreender quais os registos de ModBus a utilizar para se conseguir garantir o modo automático e inteligente.

Os registos relativamente ao controlo das cargas já foram explicados na secção anterior, e como tal nesta secção não se vai dar ênfase aos mesmos. Porém, para além destes registos, o Modo Inteligente requer uma leitura dos Contadores de Energia, o iEM3255 e o PM3255, de modo a se conseguir ler o valores de energia e trabalhar a partir deles.

As *Tags* utilizadas neste cenário, são as mesmas que as do Modo Manual, ou seja:

PL__<DeviceID>^W<RegisterAddress>[<data1>]__PL

PL__<DeviceID>^<RegisterAddress1>,<RegisterAddress2>,...__PL

Os parâmetros que se decidiu medir dos dispositivos de medição e mostrar na página web foram, a corrente, potência ativa e frequência para o PM3255. Para o iEM3255, utilizado para o PV, são medidas a potência ativa produzida e a frequência. Os registos ModBus utilizados encontram-se na Tabela 5.7.

Tabela 5.7: Registos ModBus usados para leitura de grandezas nos dispositivos de medida.

	PM3255	iEM3255
Corrente	3010 e 3011	—
Potência Ativa	3060 e 3061	3060 e 3061
Frequência	3110 e 3110	3110 e 3110

É de notar que para ler as medições dos dispositivos de energia, utiliza-se dois registos e não um. Isto acontece devido ao tipo de dados que os registos suportam, neste caso *Float* 32. Visto que cada registo é no máximo um número com 16 bits, há necessidade de usar dois registos para se conseguir armazenar valores do tipo *float* com 32 bits de tamanho.

Além da leitura de medidas elétricas, optou-se por incluir no modo inteligente a leitura dos dispositivos iOF + SD 24. Estando estes dispositivos acoplados aos interruptores diferenciais, é possível obter informação sobre a existência de um defeito elétrico na instalação, através dos registos presentes na Tabela 5.8.

Tabela 5.8: Registos de leitura correspondentes aos iOF+SD24 instalados.

Dispositivos	Canais do Smartlink	Registos para Leitura do Estado
iOF+SD24_1	1	14201
iOF+SD24_2	2	14241

Ter acesso a este tipo de informações oferece vantagens a nível de segurança da instalação elétrica e do utilizador.

Estando conhecidos os registos que são necessários para a criação desta metodologia, foi necessário, tal como no modo manual, definir as *PowerLogic Tags* para ler informação dos dispositivos, voltando a ter em conta o tipo de string que o EGX300 tem capacidades de ler como uma ordem de Modbus, o ID dos escravos da rede. As *Tags* utilizadas para leituras de dados neste modo de funcionamento estão expostas na tabela 5.9.

Tabela 5.9: Tags utilizadas para leitura dos dados relevantes dos dispositivos.

Dispositivos	<i>PowerLogic Tags</i>
PM3255	PL__3^3010,3011,3060,3061,3110,3111__PL
iEM3255	PL__2^3060,3061,3110,3111__PL
iOF + SD24	PL__12^14201,14241__PL

Em relação às *Tags* utilizadas para dar as ordens de ligar/desligar dos dispositivos do quadro, encontram-se apresentadas na Tabela 5.6.

Posteriormente procedeu-se ao desenho e programação da página *web*, recorrendo como já foi referido ao HTML e ao *Javascript*. Após ter sido desenhada a página web torna-se necessário perceber como é dada a inteligência ao quadro elétrico, através das leituras energéticas dos dispositivos. Recorreu-se às ferramentas de programação do *Javascript* de modo a fazer condições lógicas que permitissem um manuseamento de dados de modo inteligente e totalmente livre de operador.

Como se pode ver pela Figura 5.7, o princípio primário do quadro elétrico inteligente assenta na capacidade de deslastre de cargas de acordo com a produção Fotovoltaica, de modo a que esta nunca seja inferior à energia consumida pela habitação.

O fluxograma mostra um princípio muito primário do funcionamento real do quadro elétrico não demonstrado todas as capacidades e tolerâncias. De modo a explicarem-se

melhor as funcionalidades do modo inteligente, foram testados vários cenários:

- **PV Constante com variação de cargas**

Neste primeiro cenário foi testado como o quadro reage, em modo inteligente, a uma variação e deslastre de cargas, por meio do utilizador, quando o Pannel Foto-voltaico está a produzir energia de modo constante e à sua potência máxima.

Como se pode verificar na figura 5.11, não existe qualquer deslastre de cargas automático por efeito do Modo Inteligente, visto que nunca chega a passar a condição demonstrada na Figura 5.7.

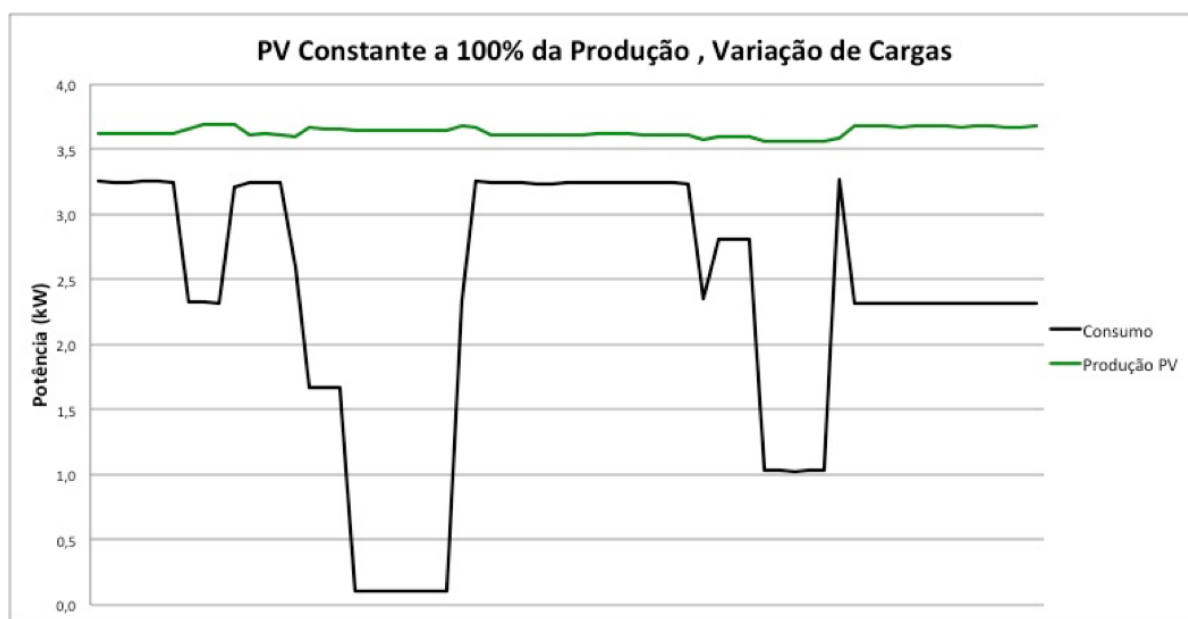


Figura 5.11: Gráfico de potências demonstrando o efeito da variação de cargas no PV.

É de notar que nesta situação, apesar de haver uma grande variação nas cargas, o quadro elétrico não tem qualquer ação automática sobre elas, estando tudo a cargo do utilizador.

- **PV Variável com uma carga constante**

Aqui optou-se por testar as capacidades do quadro elétrico de acordo com a variação do PV e utilizando uma única carga ligada.

O controlo para a função de desligar a carga é feito de acordo com o seguinte princípio: quando o PV está a produzir menos do que a carga está a gastar, o modo inteligente encarrega-se de desligar essa mesma carga. Mas, além de desligar cargas torna-se necessário decidir quando o modo inteligente deve voltar a ligar a carga. O algoritmo encarregue dessa decisão encontra-se representado, por meio de um fluxograma apresentado na Figura 5.12.

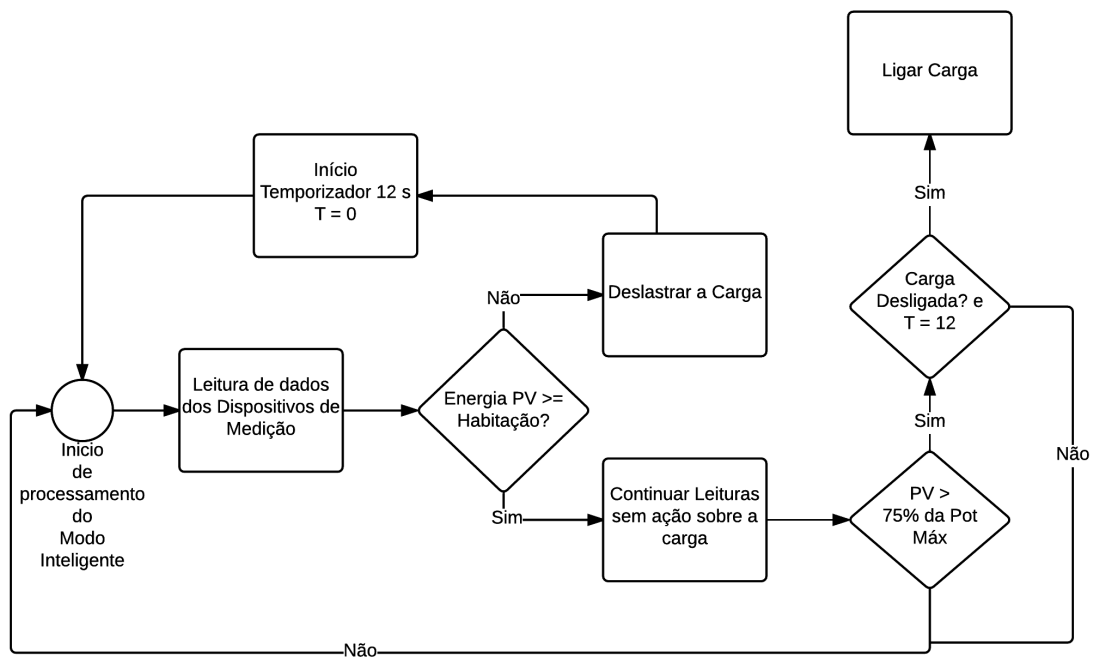


Figura 5.12: Fluxograma do Quadro Elétrico quando sujeito a variações de energia produzida pelo PV, e com uma carga ligada a um valor constante.

Como se pode apurar, o processo de voltar a ligar a carga após ter sido desligada de modo automático é realizado quando as seguintes condições são verdadeiras:

- O PV estar a produzir 75% ou mais da sua potencia máxima;
- A carga encontrar-se desligada;
- A carga foi desligada à mais de Tref segundos.

Na Figura 5.13 é demonstrado o comportamento real da carga quando sujeito ao cenário experimentado.

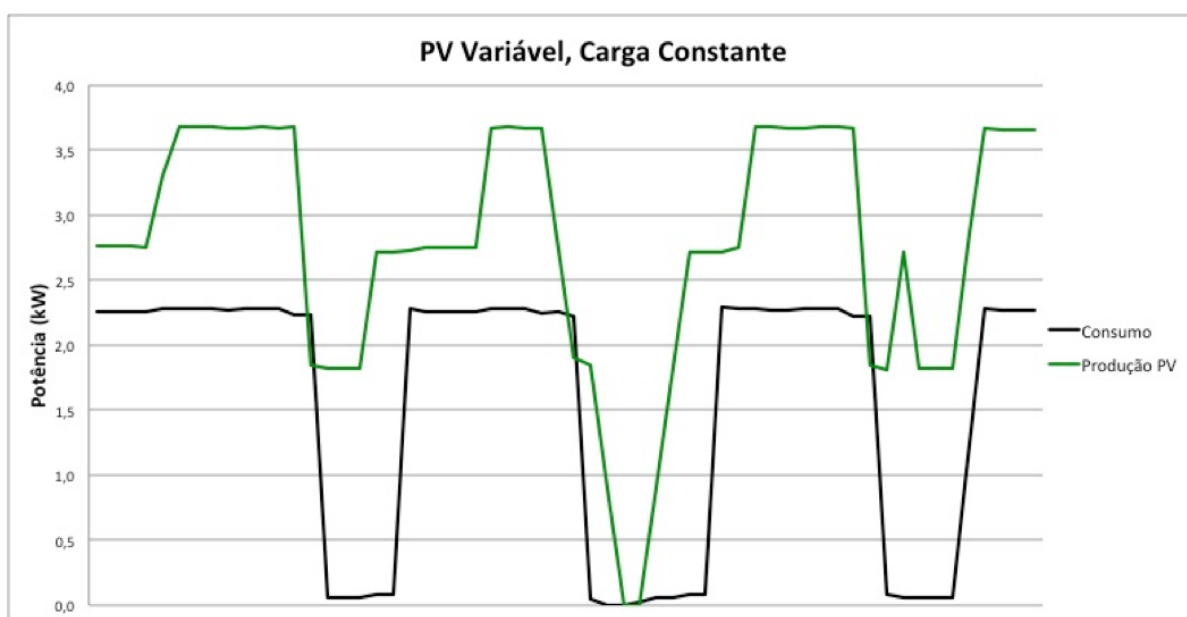


Figura 5.13: Gráfico de potências expondo o efeito causado na carga quando se verificam variações na energia produzida pelo PV.

Nesta simulação, voltou a optar-se por realizar várias variações no valor de produção do PV de modo a comprovar a robustez da metodologia proposta. Todas as condições apresentadas no fluxograma funcionaram corretamente face à utilização de uma carga real no quadro elétrico.

- **PV Variável com utilização de duas cargas constantes**

O cenário aqui ensaiado visa apresentar o comportamento de duas cargas ligadas quando é efetuada uma variação na produção do PV.

O controlo das cargas é feito de acordo com a produção de energia mas também tendo em conta o nível de prioridade das cargas, ou seja, é necessário em primeiro lugar definir uma prioridade para as cargas. De modo simplificado imagine-se que a denominamos de “carga 1” à carga prioritária e de “carga 2” à carga secundária, se o PV estiver a consumir só o suficiente para uma carga, a carga a desligar primeiro será a carga 2 visto que a carga 1 tem prioridade para estar ligada. A mesma filosofia é aplicada para quando se trata de ligar a carga, ou seja, a carga 1 é a primeira a ser ligada assim que a produção seja suficiente para suportar a mesma. De modo a simplificar a compreensão do cenário testado, apresenta-se na Figura 5.14 um fluxograma.

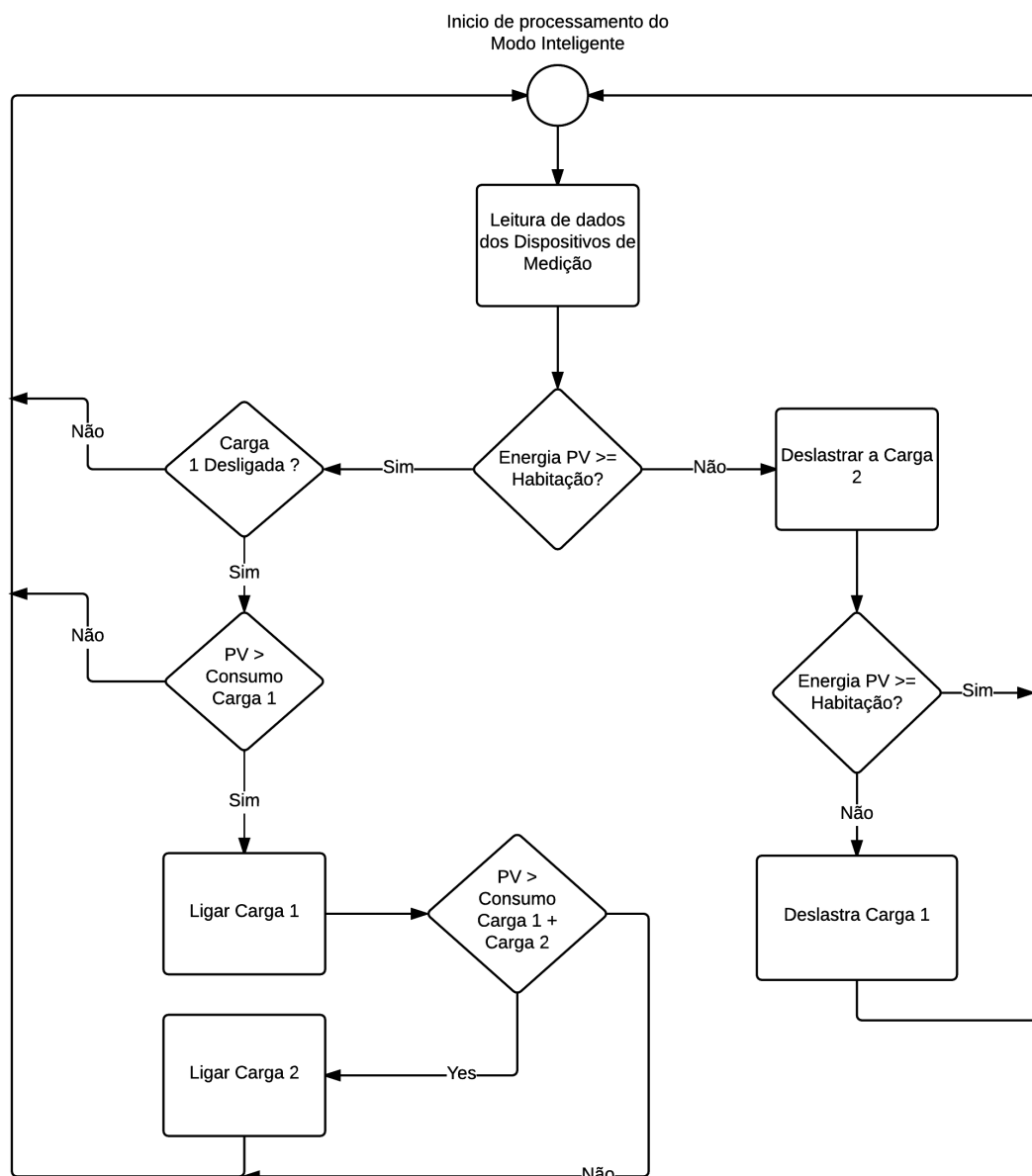


Figura 5.14: Fluxograma do Quadro Elétrico quando sujeito a variações de energia produzida pelo PV, e com duas cargas ligadas a um valor constante.

O código em Javascript, correspondente ao fluxograma apresentado na Figura 5.14 é exposto na Listagem 5.3.

Listagem 5.3: Código correspondente ao critério de deslastre de cargas em relação à produção do PV.

```
1
2 function controla_desliga(Sistema, PV) {
3
4     if(Sistema > PV){
5         Desliga();
6         if(pausecomp(5000) && Sistema > PV){
7             Desliga5();
8         }
9         if(global_tempo==0)
10             global_tempo = new Date();
11     }
12 }
13
14 function controla_liga(Sistema, PV) {
15
16     if (pausecomp(12000) || estado == 1 || estado2 == 1){
17         estado = 1;
18         estado2 = 1;
19         if(Sistema < PV && PV > 2.4){
20             liga5();
21             estado=0;
22         }
23         if(Sistema < PV && PV > 3.4){
24             liga();
25             estado2=0;
26         }
27     }
28 }
```

O bom funcionamento do quadro elétrico perante a situação exposta é comprovado na figura 5.15.

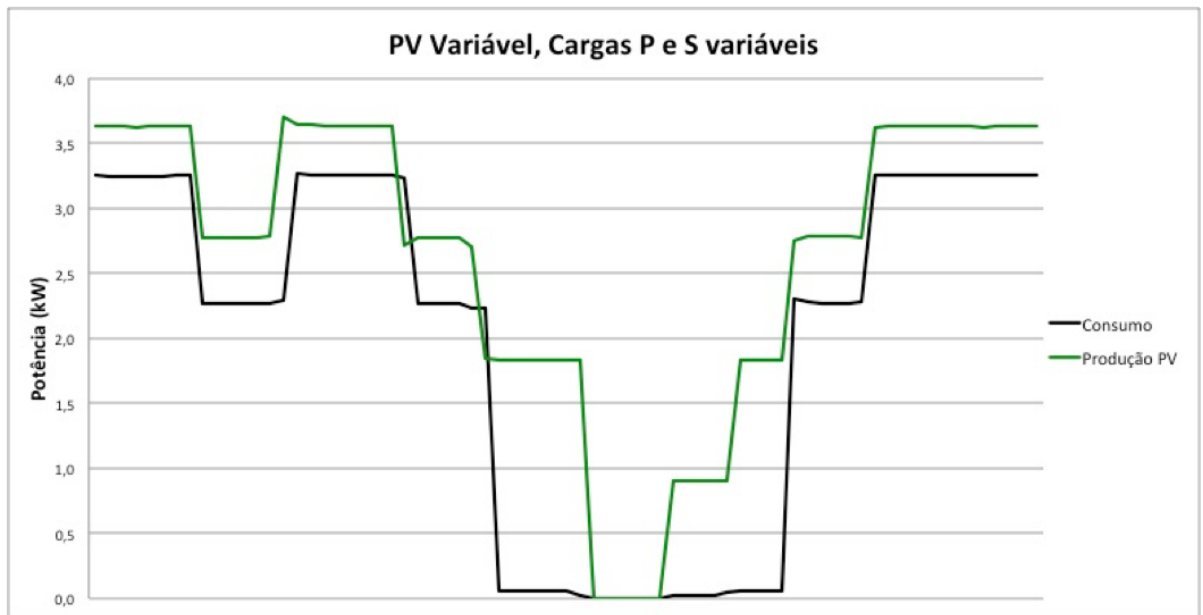


Figura 5.15: Gráfico de potências expondo o efeito causado nas duas cargas quando se verificam variações na energia produzida pelo PV

Tal como no ensaio anterior a energia produzida pelo PV sofreu variações forçadas, para deste modo provar o bom funcionamento da metodologia perante um cenário mais exigente que mete em prova a robustez do Modo Inteligente.

- **PV constante e utilização de duas cargas**

Até este ponto foram exibidos ensaios relativos ao comportamento das cargas de acordo com a produção de energia. Este cenário que se segue elucida a capacidade de decisão do quadro elétrico em relação a desgaste dos componentes.

O Modo Inteligente utiliza o seguinte critério de segurança relativamente à ligação de cargas, representado na Figura 5.16. Se a carga ligar e desligar três vezes seguidas num curto espaço de tempo, por consequência da energia produzida ser superior ao consumo atual do quadro, o Modo Inteligente encarrega-se de bloquear essa carga, e a ligação da mesma só pode ser efetuada via Modo Manual ou diretamente no quadro elétrico.

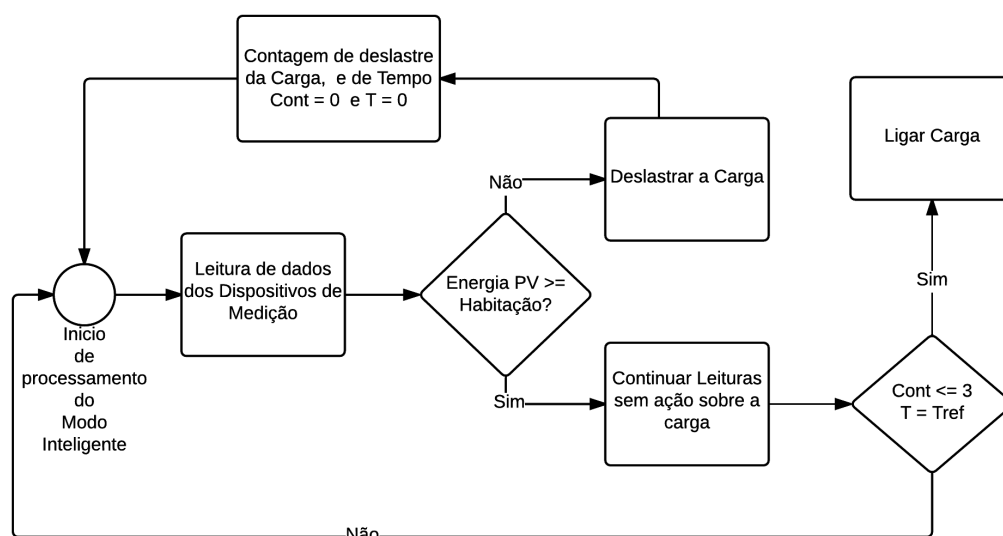


Figura 5.16: Fluxograma do Quadro Elétrico na ocorrência de tentativas repetidas de ligação da carga.

De modo a comprovar o critério de segurança implementado, decidiu-se utilizar duas cargas de testes, deixando uma constante e variando outra. Em relação à energia produzida pelo PV, a mesma foi dimensionada de modo a ser um pouco superior ao consumo atual da carga, mas por outro lado ser inferior assim que a segunda carga fosse ligada, vide Figura 5.17.

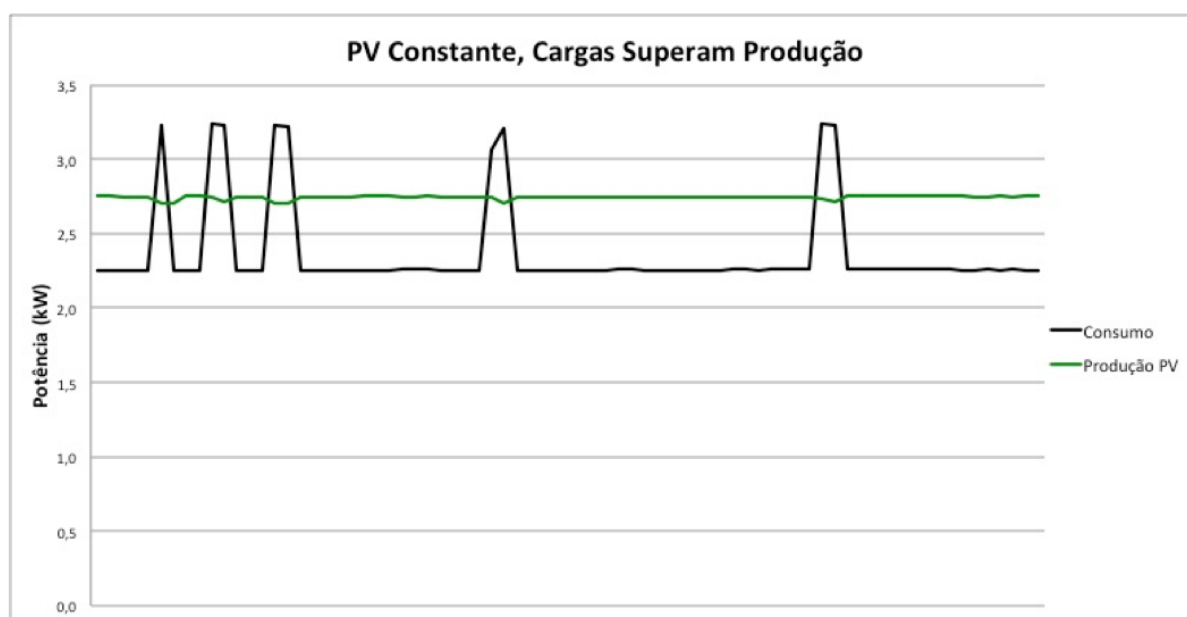


Figura 5.17: Gráfico de potências expondo a resposta do quadro relativamente a tentativas seguidas de ligação de uma carga que passa o valor de produção do PV.

É crucial que a metodologia aplicada à arquitetura proposta disponha de um controlo de cargas como o apresentado na Figura 5.16. O controlo implementado é considerado uma medida de segurança e reflete vantagens relacionadas com o desgaste nos dispositivos.

- **PV Constante com teste de um defeito elétrico**

Por fim vai ser apresentada outra experimentação referente ao comportamento do Modo Inteligente para a situação em que os interruptores diferenciais da arquitetura proposta detetam um defeito elétrico.

Recorrendo à informação enviada pelos iOF + SD24 para o sistema de gestão, a metodologia detém a capacidade de saber se os interruptores diferenciais se desligaram devido a defeito elétrico. Assim que tal informação é recebida, é aberta uma janela de alerta na página *web* a avisar o utilizador que ocorreu um defeito, visualizar Figura 5.18, e o Modo Inteligente deixa de fazer um processo inteligente de deslastre de cargas até que o problema seja resolvido. Na Figura 5.19 é apresentado o fluxograma do comportamento do sistema perante a situação descrita no parágrafo.

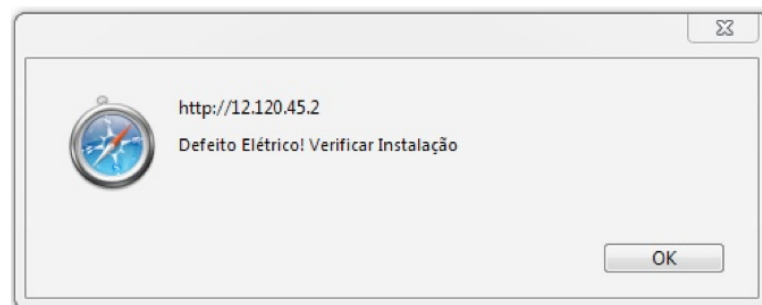


Figura 5.18: Aviso de defeito elétrico na página *web* do Modo Inteligente.

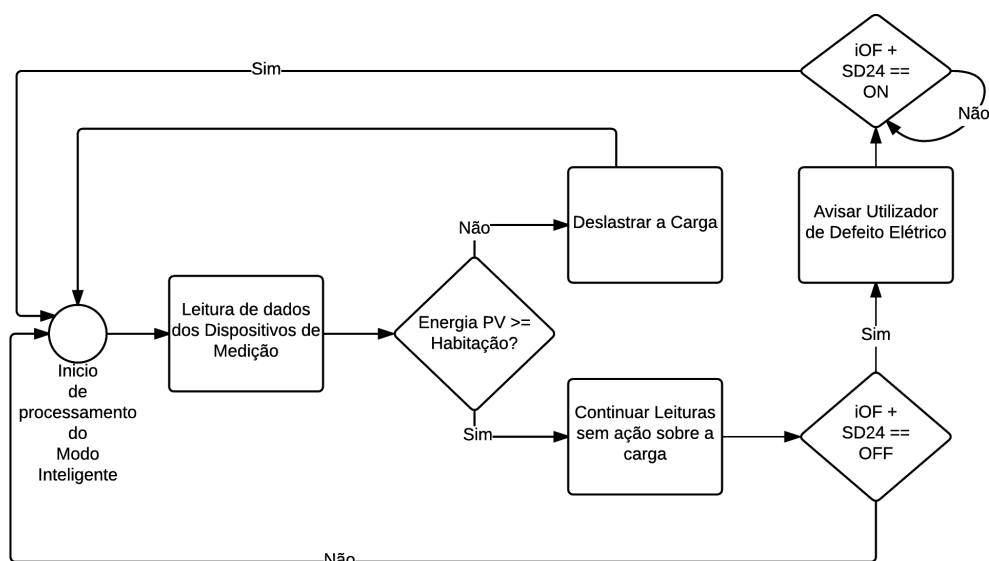


Figura 5.19: Fluxograma do Quadro Elétrico para ocorrência de defeito elétrico

Prosseguindo com a tendência apresentada nesta secção, na Figura 5.20 está representado um exemplo prático de ocorrência de defeito elétrico com o PV a produzir energia de modo constante. Como se pode observar, o defeito ocorre e só passado um certo tempo o utilizador volta a ligar o interruptor diferencial, diretamente na instalação elétrica.

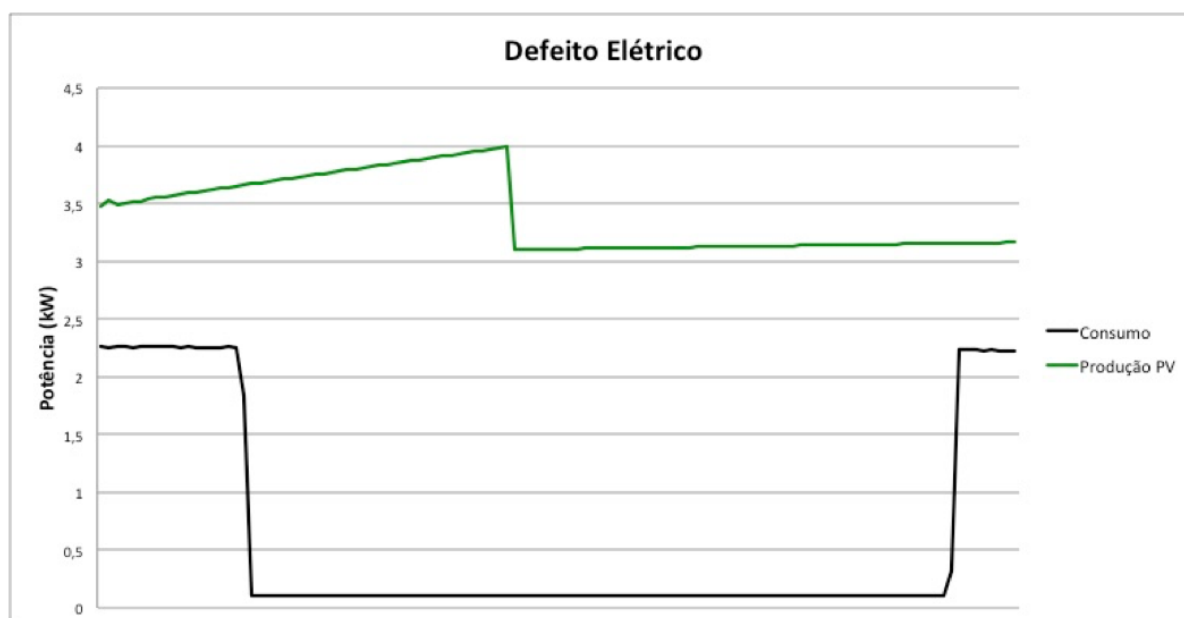


Figura 5.20: Gráfico de potências expondo o efeito de um defeito elétrico no quadro.

CONCLUSÕES

CONCLUSÕES

6.1 Considerações Finais

A eficiência energética é um tema cada vez mais falado, e rapidamente se tornou como algo a ter em conta no momento em que se decide projetar e construir uma habitação.

Seguindo esta tendência, as grandes empresas mundiais do sector de energia cada vez mais projetam as suas gamas de produtos a pensar na eficiência e poupança energética. A utilização de luzes *led* nos produtos, a criação de sistemas de automação, e a integração dos seus produtos com soluções de energia solar são exemplos de mudanças visíveis na oferta do sector da energia e habitação.

Também é notório o acréscimo na utilização de soluções de produção de energia renovável, e os próprios governos facilitam e promovem o uso destas soluções através da criação de regimes de produção distribuída. Aproveitando esta tendência, surgiu a ideia de pegar numa solução de gestão de energia da *Schneider Electric*, o EGX300, e em conjunto com outros dispositivos da gama de produtos da empresa, projetar um quadro elétrico inteligente.

O quadro desenvolvido tem como principal objetivo proporcionar ao utilizador um sistema de gestão de energia, acedido remotamente via PC através de um *browser* de Internet, e otimizado para uma utilização conjunta com sistemas de produção local de energia.

O projeto desenvolvido dividiu-se em duas partes principais de desenvolvimento. A primeira relativa à elaboração do quadro elétrico e da eletrificação dos seus dispositivos, e a segunda referente ao desenvolvimento de um sistema de gestão de energia que fosse de encontro com os objetivos propostos.

Ambas as partes foram realizadas com sucesso, sendo que a segunda não pode ser executada sem a primeira estar finalizada. O desenvolvimento do sistema de gestão teve como base o suporte de páginas web personalizadas no EGX300. Sendo assim, e recorrendo ao HTML e ao *JavaScript*, foram criadas as duas páginas web de controlo e gestão inteligente para irem de encontro com as metas iniciais.

A solução desenvolvida apresenta uma interface web simples, intuitiva e robusta. Estas características foram comprovadas através dos testes realizados no quadro elétrico, onde se utilizaram cargas elétricas reais para simular o comportamento do sistema às mais variadas situações comuns de ocorrerem.

Através dos resultados dos ensaios conclui-se que os objetivos propostos inicialmente

foram alcançados com sucesso e sem falhas. O quadro elétrico continua totalmente operacional e pronto a ser testado e utilizado de acordo com as especificações projetadas.

6.2 Trabalho Futuro

A solução de gestão de energia proposta é acessível remotamente através de uma rede Ethernet, mas nos dias de hoje os clientes procuram soluções *online*. Sendo assim, a solução proposta pode ser melhorada de modo a ser acessível via *online*. Para tal bastará conectar o EGX300 a um modem ou a um servidor que possa ser acedido de fora, através da Internet.

Outra possível melhoria, seria a adaptação da solução para outras grandezas de consumo, tais como água e gás. Para tal bastaria que os contadores de água e gás comunicassem sobre o mesmo protocolo que o EGX300.

Seria interessante integrar o sistema para uma utilização de acordo com as tarifas bi-horária e tri-horária aplicadas em Portugal. Capacitava-se o sistema de uma troca totalmente automática entre os dois modos de funcionamento. A isto também se juntaria a integração do sistema com os *smartmeters* do distribuidor de eletricidade.

Por fim, poderia proceder-se à otimização das páginas para visualização num *smartphone* ou *tablet*. Apesar de atualmente, se o EGX300 estiver conectado ao *router* da habitação, ser possível de aceder ao sistema de gestão a partir dos *browsers* instalados no *tablet* e *smartphone* via Wifi, as páginas *web* não estão otimizadas, em termos de *template*, para esses dispositivos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://www.open-homeautomation.com/resources/protocols/>. Consultado em Junho 2014.
- [2] <http://www.jung.de/en/1360/products/technology/knx-system/network-scenarios-with-the-facility-pilot-server/>. Retirado em Junho 2014.
- [3] <http://www.belkin.com/us/-products/home-automation/c/wemo-home-automation;jsessionid=640E9108B6705B9F60DBEDCCFE8F8488/>. Consultado em Maio 2014.
- [4] <http://circuitor.com/en>. Consultado em Junho 2014.
- [5] <http://www.c-e-systems.com>. Consultado em Janeiro 2015.
- [6] <http://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituientes-de-paineis-solares/>. Consultado em Março 2015.
- [7] ABB. *Quadros Eléctricos-Definições e Normas ABB*. <http://www.abb.pt/cawp/seitp202/96c64772df3a1910c1257578004f99c5.aspx>. Consultado em Março 2015.
- [8] Acromag Incorporated. *Introduction do Modbus TCP/IP*. 2015.
- [9] L. Aelenei. *Nearly Zero Energy Buildings*. 2012.
- [10] L. Araújo. *Domótica, Protocolo de comunicação EIB - KNX*. <http://www.prof2000.pt/users/lpa>. Consultado em Junho de 2014.
- [11] L. Araújo. *Domótica, Protocolo de comunicação X10*. <http://www.prof2000.pt/users/lpa>. Consultado em Junho de 2014.
- [12] A. Baptista. *Serviço da EDP que controla gastos através do telemóvel pode poupar “10% a 20%” na conta*. http://www.dinheirovivo.pt/empresas/interior.aspx?content_id=3872308. Consultado em Abril 2014.
- [13] F. Barjal. “Edifícios de Emissão Quase Zero, Guia de requisitos para construção”. Tese de mestrado. Universidade de Aveiro, 2012.
- [14] B. Benchoff. *Turning the Belkin WeMo into a deathtrap*. <http://hackaday.com/2013/01/31/turning-the-belkin-wemo-into-a-deathtrap/>. Consultado em Maio de 2014.

- [15] E. Corporation. *Introduction to the LonWorks System*. Echolon Corporation. 1999.
- [16] M. G.-S. e. I. H. Eduardo F. Camacho Tariq Samad. *Control for Renewable Energy and Smart Grids*. <http://ieeecss.org/sites/ieeecss.org/files/documents/IoCT-Part1-06RESG.pdf>. Consultado em Novembro de 2014.
- [17] M. S. e Emanuel Ey. *ZigBee, Uma Abordagem prática*. http://lusorobotica.com/ficheiros/Introducao_ao_Zigbee_-_por_msaleiro.pdf. Consultado em Maio de 2014.
- [18] C. M. Freitas. *Protocolo Modbus: Fundamentos e Aplicações*. <http://www.embarcados.com.br/protocolo-modbus/>. Consultado em Novembro 2014. 2014.
- [19] Governo de Portugal. *COMUNICADO DO CONSELHO DE MINISTROS DE 4 SETEMBRO DE 2014*. <http://www.portugal.gov.pt/pt/os-ministerios/ministro-da-presidencia-e-dos-assuntos-parlamentares/documentos-oficiais/20140904-cm-comunicado.aspx>. Consultado em Fevereiro de 2015.
- [20] A. Guterres. "Decreto n.º 7/2002". Em: *Diário da República nº 71 - 25 Março 2002* ().
- [21] A. Jorge. "Sistema de Comunicação para Monitorar Consumos de Energia". Tese de mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, 2010.
- [22] E. Lechuga. "Analysis of the Implementation of a Photovoltaic Plant in Catalonia". Tese de mestrado. Politechnika Lodzka, 2011.
- [23] B. Lovejoy. *Review: Belkin Wemo Switch & Motion – home automation for the rest of us*. <http://9to5mac.com/2013/03/29/review-belkin-wemo-switch-motion-home-automation-for-the-rest-of-us/>. Consultado em Maio de 2014.
- [24] E. Mantovani. *Aplicações e Limitações da Tecnologia LonWorks na Automação*. 1998.
- [25] P. Matutino. "Concepção e Desenvolvimento de uma Rede Domótica". Tese de mestrado. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 2001.
- [26] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. *Enquadramento do novo regime de Produção Distribuída*. 2014.
- [27] *Modbus*. <http://www.pacontrol.com/Modbus.html>. Consultado em Novembro 2014.
- [28] *Modbus RTU Unplugged – An introduction to Modbus RTU Addressing, Function Codes and Modbus RTU Networking*. <http://www.rtaautomation.com/technologies/modbus-rtu/>. Consultado em Novembro 2014.
- [29] *Padrão X-10*. <http://albt.tripod.com/x10.htm>. Consultado em Junho 2014.
- [30] D. Palma. "Domótica KNX EIB de Baixo Custo". Tese de mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

- [31] *Photovoltaic Efficiency - Inherent and System*. <http://www.solar-facts.com/panels/panel-efficiency.php>. Consultado em Março 2015.
- [32] E. Proença. “A Energia Solar Fotovoltaica em Portugal”. Tese de mestrado. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 2007.
- [33] *Re:Dy EDP*. <https://energia.edp.pt/particulares/servicos/redy.aspx>. Consultado em Abril 2014.
- [34] D. Rye. *My life at X10*. <http://www.hometoys.com/emagazine.php?url=/htinews/oct99/articles/rye/rye.htm>. Consultado em Maio de 2014. 1999.
- [35] Schneider Electric. *Acti9 Smartlink Modbus Communication System User Manual*. 2014.
- [36] Schneider Electric. *Benefits of photovoltaic energy*. http://www.electrical-installation.org/enwiki/Benefits_of_photovoltaic_energy. Consultado em Março de 2015.
- [37] Schneider Electric. *Energy efficiency and electricity*. http://www.electrical-installation.org/enwiki/Energy_efficiency_and_electricity. Consultado em Fevereiro de 2015.
- [38] Schneider Electric. *PowerLogic Ethernet Gateway EGX300 User Guide*. 2013.
- [39] United Nations Framework Convention on Climate Change. *Kyoto Protocol*. http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php. Consultado em Fevereiro 2015.